DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Vierzehnter Jahrgang | 16. April 1926 | Heft 16

Aberration und Relativitätstheorie[1]).

Von R. EMDEN, München.

Das Aberrationsproblem, das nach verschiedenen, vergeblichen Ansätzen durch die spezielle Relativitätstheorie, und nur von der speziellen Theorie werde ich in meinen Ausführungen Gebrauch machen, erledigt erschien, und wie sich zeigen wird, auch tatsächlich restlos gelöst ist, wird in neuerer Zeit von Gegnern der Theorie gerade als Experimentum crucis gegen sie ins Feld geführt. Sie argumentieren so: Die Relativitätstheorie kennt keine absolute Bewegung; die Aberration kann also nur abhängen von der Relativbewegung Erde—Stern. Wird ein Doppelstern beobachtet, und liegt die Erde angenähert in der Bahnebene, so besitzen dessen Komponenten C_1 und C_2 verschiedene Relativgeschwindigkeiten gegen die Erde, welche verschiedene Aberrationen zur Folge haben müssen. Sie müssen (Fig. 1) also in einer Winkeldistanz gesehen werden, die gerade dann ein Maximum ist, wenn sie nach der DOPPLERschen Linienverschiebung mit der Erde in gerader Linie liegen. Da eine Winkeltrennung der Komponenten als Aberrationseffekt mit den Beobachtungen in Widerspruch steht, kann die in Betracht kommende Bewegung keine Relativbewegung sein, sondern muß „absoluten" Charakter besitzen. Die Relativitätstheorie ist somit erledigt.

Diese Beweisführung, scheinbar von echtem Geist der Relativitätstheorie erfüllt, wirkt überzeugend. Allein ich fügte das Wort scheinbar bei; denn tatsächlich widerspricht sie gerade dem Ausgangspunkte der speziellen Relativitätstheorie: „Zwischen signalisierender Lichtquelle und Beobachter gibt es niemals Relativbewegung." Die Beziehung zwischen beiden hat stets „absoluten" Charakter, nämlich den der „Ruhe". Die Signalgeschwindigkeit ist eine Invariante, deren numerischer Wert durch keine Relativbewegung geändert werden kann, und die übliche Vorstellung von Relativbewegung wird hier ebenso hinfällig, wie sie es in der herkömmlichen Mechanik werden würde, falls eine der Komponenten unendlich wäre.

Diese Tücke der Problemstellung ist selbst einem gründlichen Kenner der Relativitätstheorie[2]) unbequem geworden, denn H. THIRRING sieht sich nicht nur veranlaßt, zum schwereren Rüstzeug der allgemeinen Relativitätstheorie zurückzugreifen, sondern überflüssigerweise den Begriff der „Latenzzeit", die Aberrationszeit der Astronomen, herbeizuziehen, die Zeit, die das Licht braucht, um die Strecke Stern—Erde zurückzulegen. Sie hat zur Folge, daß außer durch die Aberratio fixarum, bestimmt durch das Verhältnis Erdgeschwindigkeit zu Lichtgeschwindigkeit, die hier allein in Betracht kommt, die leuchtenden Objekte durch eine Aberratio planetarum eine weitere Verschiebung erfahren, so daß das Bild des gestirnten Himmels einer Vergangenheit und jeder Teil desselben einer anderen Vergangenheit angehört. Nichtsdestoweniger dienen die Fixsterne zur Festlegung astronomischer Koordinaten, und kommt die Aberratio planetarum lediglich zur Festlegung der Orte von Planeten, Kometen usw. in Betracht. THIRRING benutzt sie auch, um die Wegstrecke abzugrenzen, welche die Erde in ihrem Ablaufe zurücklegt. Allein diese Zeit kann hier unmöglich in Betracht kommen; denn die Frage der Aberration fixarum, und um diese handelt es sich hier allein, lautet so:

Wie wird die Richtung des einfallenden Strahles durch die momentane Bewegung der Erde und die Bewegung (nicht den Ort) des Sternes zur Zeit der Aussendung des Strahles beeinflußt?

Die spezielle Relativitätstheorie gibt daraufhin klipp und klar die Antwort

Gar nicht.

Fig. 1. Relativbewegung der Doppelsternkomponenten gegen die Erde.

Wie trotzdem durch die spezielle Relativitätstheorie das Aberrationsproblem qualitativ und quantitativ vollständig erledigt werden kann, möchte ich nun darlegen.

Die Entdeckung der Aberration ereignete sich auf der Suche einer anderen, auf dem eingeschlagenen Wege nicht feststellbaren Erscheinung. Im Jahre 1725 begann ein englischer Liebhaberastronom, S. MOLYNEUX, auf seiner Privatsternwarte zu Kew eine Reihe von Beobachtungen an Zenithsternen, speziell an γ Draconis, um die so lange vergeblich gesuchte jährliche Parallaxe dieser Gestirne zu ermitteln. An diesen Untersuchungen beteiligte sich weiterhin auch J. BRADLEY. Sie fanden eine kleine, scheinbare Verschiebung, erkannten aber, daß diese nicht durch Parallaxe gedeutet werden konnte; denn sie erfolgte in Richtung

[1]) Nach einem Vortrage, gehalten im physikalischen Kolloquium.

[2]) H. THIRRING, Relativität und Aberration. Naturwissenschaften 1925, H. 21, S. 443. Ich sehe selbstverständlich davon ab, die gesamte vorliegende, oft ziemlich verworrene Diskussion hier kritisch zu behandeln; an Hand der vorliegenden, prinzipiell Klarheit anstrebenden Darstellung können vorhandene Differenzpunkte leicht aufgedeckt und beseitigt werden.

der Erdbewegung, nicht dieser entgegen; die maximalen Ausschläge in Deklination erfolgten im Frühjahr und Herbste, nicht im Sommer und Winter. Im Jahre 1729 nahm BRADLEY diese Beobachtungen mit neuem Instrumentarium in Wanstead wieder auf und gelangte zu einigen empirischen Regeln, durch welche die beobachteten Veränderungen in Deklination dargestellt werden konnten. (Beobachtet wurde nur in Deklination, zu Beobachtungen in Rektaszension reichte vermutlich die Genauigkeit der damaligen Uhren nicht aus.) Für die Aberrationskonstante selbst wurde der sehr gute Wert $^1/_{199}$ Grad ermittelt = 19″. Trotzdem der Begriff der Relativbewegung den Astronomen durch das Kopernikanische System geläufig und die Lichtgeschwindigkeit gemessen war, dauerte es bis zum Herbste 1728 (MOLYNEUX starb im Frühling dieses Jahres), ehe BRADLEY, wie erzählt wird durch Zufall, zu seiner Erklärung der Aberration gelangte, die, im Jahre 1729 veröffentlicht, in ihrer für die damalige Zeit zwingenden Beweiskraft allgemeine Zustimmung fand. [Sie lautet in modernerer Ausdrucksweise: Ist (Fig. 2) die Lichtgeschwindigkeit durch den Vektor $c = SA$, die Erdgeschwindigkeit durch den Vektor $v = AB$

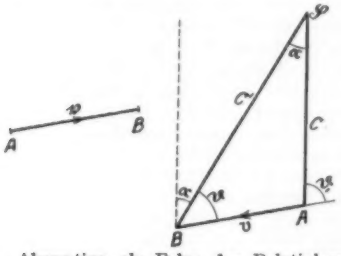


Fig. 2. Aberration als Folge der Relativbewegung Erde—Stern.

gegeben, so ergibt sich dem irdischen Beobachter die beobachtete Lichtgeschwindigkeit durch den Vektor $c' = SB$. Er sieht den Stern in Richtung BS gegen die Richtung AS um den Aberrationswinkel α in Richtung der Erdbewegung verschoben, und es ergibt sich

$$\sin\alpha = \frac{v}{c}\sin\vartheta \tag{1}$$

mit dem Maximalwerte

$$\sin\alpha_{max} = \frac{v}{c}$$

für $\vartheta = 90°$, in welchem Falle die Geschwindigkeit des ankommenden Lichtes zu

$$c' = c\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

gemessen wird. Bei einem Verhältnis $\frac{v}{c} = \frac{1}{10\,000}$ kann $\sin\alpha$ durch α und ϑ durch ϑ_1 ersetzt werden. Oder der Undulationstheorie angepaßt: Tritt das Licht in Richtung SA in das Objektiv S eines Fernrohres ein, so braucht es, um zum Fadenkreuze A zu gelangen, eine Zeit $\frac{SA}{c}$, während welcher sich dieses durch Erdbewegung um die Strecke $v \cdot \frac{SA}{c}$ verschoben hat. Soll das Fadenkreuz getroffen werden, so muß das Fernrohr in Richtung BS eingestellt werden, wodurch der Stern durch einen Winkel α von angegebenem Betrage in Richtung Erdbewegung verschoben erscheint.

Die Sterne beschreiben so im Laufe eines Jahres Ellipsen (im Pole der Ekliptik Kreise), deren halbe großen, verschieden gerichtete Achsen von gleichem Öffnungswinkel $\alpha_{max} = \frac{v}{c}$ sind. Als Normalwert dieser „Aberrationskonstanten" ist der Wert $\frac{v}{c} = 20{,}47''$ festgelegt; damit wird $\frac{v}{c} = \frac{1}{10\,076{,}5}$. Setzt man v rund gleich 30 km/sek., so wird $\frac{v}{c} = \frac{1}{10\,000} = 20{,}6''$.

Es kann deshalb keinem Zweifel unterliegen, daß die Aberration quantitativ so richtig wiedergegeben wird. Allein einer strengen Behandlungsweise auf Grund der elektromagnetischen Lichttheorie stellen sich bekanntlich außerordentliche Hindernisse entgegen, die hier nicht zu erörtern sind. Doch sollen zur Klärung der Verhältnisse zwei weitere Schwierigkeiten hervorgehoben werden.

Im Jahre 1742 machte R. G. BOSCOVICH den Vorschlag, zur Prüfung der BRADLEYschen Theorie Aberrationsmessungen mit einem Wasser gefüllten Fernrohre auszuführen. Vollständige Wasserfüllung vergrößert die Zeit, welche das Licht zum Durchlaufen des Fernrohres braucht, um rund $^4/_3$, die daraus resultierende Vergrößerung der Aberrationskonstanten um $^1/_3 \cdot 20''$, kann der Beobachtung nicht entgehen. Nach widersprechenden Versuchen von RESPIGHI und KLINKERFUES (letzterer mit positivem Ergebnisse benutzte eine Wasserschicht von nur 3 Zoll Dicke), führte AIRY in Greenwich in den Jahren 1871 und 1872 im Frühjahr und Herbste, den Zeiten maximaler Aberration in Deklination, entscheidende Messungsreihen aus. Die Länge der Wassersäule betrug 30 Zoll. Als überraschendes Resultat ergab sich *keine* Änderung der Aberrationskonstanten. Nun hatte FIZEAU bei seinen bekannten Untersuchungen über die Lichtgeschwindigkeit in strömendem Wasser gezeigt, daß man den Beobachtungen gerecht werden kann durch die Annahme, es werde dem die Lichtwellen tragenden Äther durch das mit der Geschwindigkeit v strömende Wasser eine Geschwindigkeit $u = v\left(1 - \frac{1}{n^2}\right)$ n der Brechungsexponent, mitgeteilt. Überträgt man diese Annahme sinngemäß auf die mit Erdgeschwindigkeit bewegte Wasserfüllung des Fernrohres, so ergibt sich die beobachtete Unveränderlichkeit der Aberrationskonstanten[1]). Allein trotzdem FIZEAU versuchte diesen

[1]) Siehe z. B. O. D. CHWOLSON, Lehrbuch der Experimentalphysik Bd. II, S. 259. 1904.

Mitführungskoeffizienten theoretisch zu begründen, kann ihm doch nur der Charakter einer rein empirischen Regel zukommen; denn für jede Wellenlänge und in Krystallen für den ordentlichen und den außerordentlichen Stahl ergeben sich verschiedene Koeffizienten. Die Äthertheorie versagt hier vollkommen; um so wertvoller ist das Ergebnis der speziellen Relativitätstheorie, daß sie in diese Verhältnisse vollkommene Klarheit gebracht hat.

Unbefriedigend in dem Ausdruck 1. ist auch die Interpretation, die der Geschwindigkeit v gegeben wird. Sinngemäß soll sie die Geschwindigkeit der Erde relativ zum Äther messen. Nun bewegt sich aber die Sonne mit einer Geschwindigkeit gleicher Größenordnung durch das Fixsternsystem hindurch, das sich selbst wieder mit gänzlich unbekannter Geschwindigkeit durch den Äther hindurch bewegt. Wenn wir die Erdgeschwindigkeit um die Sonne mit v_e bezeichnen und die Summe der Geschwindigkeiten von Sonnen- und Fixsternsystem zu einem Vektor zusammenfassen, dessen Projektion auf die Ekkliptik durch v_s dargestellt wird, so beträgt in einem gewissen Momente die Aberration

$$\sin\alpha_1 = \frac{v_s + v_e}{c}\sin\vartheta$$

und $^1/_2$ Jahr später

$$\sin\alpha_2 = \frac{v_s - v_e}{c}\sin\vartheta.$$

Werden Glieder mit $\frac{v^2}{c^2}$ vernachlässigt, so folgt für die halbe große Achse der Aberrationsellipse

$$\frac{\alpha_1 - \alpha_2}{2} = \frac{v_e}{c}\sin\vartheta.$$

Trotz der gänzlich veränderten Bedeutung von v ergibt sich also wieder dieselbe Aberrationskonstante, daneben aber ist der Mittelpunkt der Aberrationsellipse eines jeden außerhalb unseres Fixsternsystems liegenden Objektes, um den selbstverständlich nicht meßbaren Betrag

$$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2} = \frac{v_s}{c}$$

verschoben, wobei für unsere Fixsterne v_s für die Sonne allein zu bilden ist (säculare Aberration). Diese Unsicherheit in der Bedeutung des v wird durch die spezielle Relativitätstheorie vollständig beseitigt; wie das ursprünglich in gleichem Sinne gebrauchte v der bekannten LORENTZschen Transformationsformeln wird es auch hier gedeutet als die exakt meßbare Relativgeschwindigkeit zweier Systeme.

Würde die Erde, statt in ihrer Bahn um die Sonne, geradlinig mit konstanter Geschwindigkeit sich bewegen, so würde auch nach der Äthertheorie niemals eine Aberration beobachtet werden können. Ein spekulativer Kopf könnte wohl eine Aberration theoretisch konstruieren und den Betrag für jede Geschwindigkeit v berechnen, allein die Prüfung seiner Theorie würde sich jeder Beobachtung entziehen. Erst die Kreisbewegung der Erde schafft eine Flächennormale, eine feste Richtung, gegen welche die Aberration, infolge ihrer Richtungsänderung gemessen werden kann. Nur eine mechanisch, nicht optisch gegebene Standardrichtung ermöglicht eine Messung der Aberration.

Diese und andere Schwierigkeiten, die stets wiederkehren, wenn es sich um die Elektrodynamik bewegter Systeme handelt, werden durch die Relativitätstheorie vollständig beseitigt. Dies klarzulegen haben wir an ihre eigentlichen Grundlagen zu erinnern.

Bis zur Aufstellung der Theorie durch EINSTEIN konnte bekanntlich das Gebiet der Physik in zwei sich verschieden verhaltende Teile gespalten werden; in die Physik der ponderablen Materie, kurz Mechanik genannt, und die Physik des Äthers. Die Mechanik ist durch eine Eigentümlichkeit ausgezeichnet, so daß ich sie hier im engen Kreise als Speisewagenmechanik charakterisieren möchte. Im Wagen, der mit nach Größe und Richtung unveränderter Geschwindigkeit rollt, kann ich mein Glas ebensovoll gießen, könnte ich ebensogut Billard spielen, wie bei Stillstand. In unendlich vielen Wagen, deren Geschwindigkeitsvektoren konstant, aber sonst beliebig sind, spielen sich alle mechanischen Vorgänge qualitativ und quantitativ auf gleiche Weise ab. Alle Wagen sind gleichberechtigt, und der Insasse eines jeden Wagens ist berechtigt, den seinen in Ruhe befindlich anzunehmen. Die Geschwindigkeit eines Inertialsystems ist überhaupt keine Geschwindigkeit; auf die Schwierigkeit der Definition eines Inertialsystems braucht hier nicht eingegangen zu werden. Was sich in jedem Wagen aber auf gleiche Weise abspielt, wird von den Insassen anderer Wagen anders gesehen; ein Stein der geradlinig fällt, wird für jeden anderen Wagen eine andere Parabel beschreiben. Diese Beziehung von einem Wagen zum anderen wird durch die GALILEIschen Transformationsformeln geregelt.–Der Ausdehnung dieser so befriedigenden Verhältnisse auf das andere Teilgebiet der Physik schiebt der hypothetische Äther einen Riegel vor. Es gibt ein System, ausgezeichnet dadurch, daß es im Äther ruht und die Versuchsergebnisse in Laboratorien auf anderen Systemen konstanten Geschwindigkeitsvektors sind abhängig von dessen numerischen Betrag in bezug auf das ausgezeichnete System. Diese Relativgeschwindigkeit zu dem ruhenden, die Lichtwellen tragenden Äther sollte durch den MICHELSONschen Versuch festgestellt werden, der kurz so skizziert werden kann. In dem Kreuzungspunkt L zweier rechtwinklig zueinander gestellter Arme LA und LB (Fig. 3) gleicher Länge, die an ihren Enden Spiegel A und B tragen, flammt ein Lichtsignal auf. (Ich spreche im folgenden stets von der Signalgeschwindigkeit c, der Geschwindigkeit, mit welcher sich

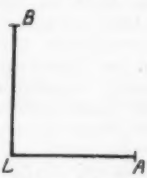


Fig. 3. Schema des MICHELSON-Versuches.

eine Störung fortpflanzt; nur diese, nicht die Phasengeschwindigkeit, die $\gtrless c$ sein kann, ist invariant.) Es werden die Zeiten gemessen, innerhalb welchen es nach Reflexionen in A und B wieder in L eintrifft. Liegt der Geschwindigkeitsvektor der Erdbewegung unsymmetrisch zu LA und LB, so müssen diese Zeiten ungleich sein. Der Versuch ergab das entgegengesetzte Resultat, nämlich Gleichheit. Um Erklärungsversuche, welche in Erinnerung an ältere Emissionstheorien die Lichtausbreitung durch den Bewegungszustand der Lichtquelle beeinflußt annehmen, auszuschließen stellte EINSTEIN das Prinzip von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit auf: „Jeder Lichtstrahl bewegt sich im ‚ruhenden' Koordinatensystem mit der bestimmten Geschwindigkeit c unabhängig davon, ob dieser Lichtstrahl von einem ruhenden oder bewegten Körper emittiert ist." Oder kürzer gefaßt (PAULI): „Die Lichtgeschwindigkeit ist unabhängig vom Bewegungszustand der Lichtquelle"; wobei man sich allerdings erinnern muß, daß zur Fixierung des Bewegungszustandes nicht der Äther, sondern ein ruhend gedachtes System anzusetzen ist. (Diese „Konstanz" der Lichtgeschwindigkeit wird vielfach verwechselt mit der Gleichheit des Zahlwertes c von allen Inertialsystemen aus gemessen; die Konstanz besteht auch in der allgemeinen Relativitätstheorie.) Diese Konstanz der Lichtgeschwindigkeit ist von den Astronomen stets stillschweigend vorausgesetzt worden; daß sie aus Beobachtungen an Doppelsternen mit Notwendigkeit gefolgert werden kann, ist von DE SITTER klargelegt worden. Und die Wiederholung des MICHELSON-Versuches durch R. TOMASCHEK unter Benützung von Fixsternlicht mit gleichem Ergebnis führt zu gleichem Schlusse, der, wenn auch nicht seine theoretische Begründung, von jedem Relativisten mit heller Freude begrüßt werden wird. An Stelle dieses Prinzipes, eines Restes Äthertheorie, kann wohl eine experimentell gesicherte Tatsache gesetzt werden. Die Hypothese von LORENTZ, eine wirkliche, durch physikalische Kräfte hervorgerufene Kontraktion der durch den Äther bewegten Materie anzunehmen, ist von ihrem Begründer fallen gelassen worden. Ein anderer Ausweg, den Äther in der Umgebung der Erde an deren Bewegung vollständig teilnehmen zu lassen, erweist sich, abgesehen von den FIZEAUschen Mitführungsversuchen, es sei nur an die diesbezüglichen Arbeiten von STOKES erinnert, ungangbar; und ein anderer Vorschlag, den herkömmlichen Äther, den „kranken Mann" der Physik als heimgegangen zu betrachten und an dessen Stelle erblich belastete Abkömmlinge einzuführen, dürfte nur ganz vereinzelt Beifall gefunden haben. Die weitaus überwiegende Mehrzahl der Physiker hat sich deshalb dem Vorgehen EINSTEINS angeschlossen, den Äther als Träger der Lichtbewegung überhaupt fallen zu lassen. Dies ist eine Annahme von ungeheurer Tragweite; denn nun gibt es auch in der bisherigen Ätherphysik kein ausgezeichnetes Bezugssystem mehr; alle Inertialsysteme werden gleichberechtigt und, was ich für die Mechanik als charakteristisch hervorgehoben habe, gilt nun für das gesamte Gebiet der Physik: Ein jeder Versuch aus einem beliebigen Gebiete der Physik, der in einem beliebigen der unendlich vielen möglichen Inertialsystemen angestellt wird, führt zu gleichem qualitativen und quantitativen Resultate. Dies der kurze, schwerwiegende Satz, dessen Ausarbeitung den Inhalt der speziellen Relativitätstheorie bildet. Der Versuch, der in einem System genau so verläuft, wie in jedem anderen, wird aber, wie schon speziell für die Mechanik erwähnt, von jedem anderen System aus anders wahrgenommen. Diese Beziehung zwischen den Systemen wird nun aber nicht mehr durch die GALILEIschen, sondern durch die LORENTZschen Transformationsformeln bestimmt. Doch ist zu betonen, daß ihr v nicht mehr die unbestimmte Geschwindigkeit gegen einen Äther, sondern die exakt gegebene Relativgeschwindigkeit der beiden in Betracht kommenden Systeme gegeneinander bedeutet. Daß damit freilich eine vollkommene Änderung unserer überlieferten Zeit- und Raumauffassung verbunden sein muß, braucht hier nicht näher erläutert zu werden.

Um diesen Grundsatz der speziellen Relativitätstheorie auf das Aberrationsproblem anzuwenden, denken wir uns z. B. beliebig viele Inertialsysteme verschiedener und verschieden gerichteter Geschwindigkeit mit gleichen Instrumentarium (Fig. 3), zur Anstellung das MICHELSONversuches ausgerüstet, doch sollen deren Geschwindigkeiten so reguliert sein, daß die Kreuzungspunkte L ihrer Arme in einem gewissen Zeitmomente zusammenfallen. In diesem Augenblicke flamme in diesem gemeinsamen Durchkreuzungspunkte L ein Lichtsignal auf. Alle Systeme sind gleichberechtigt, und in allen muß folglich der Versuch mit gleichem negativen Ergebnisse verlaufen. Und, und dies ist der springende Punkt, jeder Beobachter in diesen gleichberechtigten Systemen ist berechtigt, die signalisierende Lichtquelle in seinem System „ruhend" anzunehmen. Auch andere, leicht konstruierbare Gedankenexperimente führen zu dem Schlusse, daß der Ausgangspunkt eines und desselben Lichtsignales für die Beobachter in allen Inertialsystemen ruht. Die LORENTZ-EINSTEINschen Transformationsformeln sind ja nur die mathematische Fassung der Tatsache, daß ein Lichtsignal, das am Kreuzungspunkte zweier Inertialsysteme abgeht, sich in jedem der beiden als Kugelwelle ausbreitet. ***Zwischen Signalquelle und Beobachter gibt es keine Relativbewegung.*** Und damit ist das Aberrationsproblem vom Standpunkte der speziellen Relativitätstheorie aus erledigt. ***Ein Stern, der ein Lichtsignal abgibt, ruht für die Beobachter auf allen Weltkörpern, die durch konstanten Geschwindigkeitsvektor ausgezeichnet sind.*** Würde die Erde keine Bahn um die Sonne, sondern eine Inertialbahn zurücklegen, so wäre für einen irdischen Beobachter sein System allen von den

Sternen ausgehenden Lichtsignalen gegenüber ein Ruhesystem. Also folgt: *Nach der speziellen Relativitätstheorie gibt es keine Aberration*, und die Lichtsignale durchlaufen ein Fernrohr stets längs dessen Achse und nicht auf einer Bahn, die sich aus Licht- und Erdgeschwindigkeit zusammensetzt; die Wasserfüllung ändert wohl die Brennweite, nicht aber den Neigungswinkel. Ich habe oben bereits bemerkt, daß auf einer Erde konstanten Geschwindigkeitsvektors auch nach der Äthertheorie keine Aberration auftreten würde. Aber die Verhältnisse in beiden Fällen sind gänzlich verschieden; dort ist die Aberration lediglich nicht beobachtbar, existiert aber tatsächlich in einem Betrage, der für jedes v angegeben werden kann, hier hingegen ist ihr Begriff an sich hinfällig.

Die Aberration kann also nur bewirkt werden durch die Umlaufsbewegung der Erde um die Sonne; trotzdem ist es möglich, ihren Betrag auf Grundlage der *speziellen* Relativitätstheorie zu berechnen, wie auch in der Mechanik die Erdbahn vielfach als geradlinig angenommen werden kann. Gegeben seien 2 Systeme K und K' mit der Relativgeschwindigkeit v. In K, dem „Ruhsystem", laufen 2 Lichtsignale in Richtungen ϑ_1 und ϑ_2 gegen v, mit v in einer Ebene liegend und unter sich den Winkel ω einschließend. Dem Beobachter in K' erscheint die Geschwindigkeit invariant, die Richtungen aber geändert, so daß sie den Winkel ω' einschließen, bestimmt durch die Beziehung

$$\sin^2\frac{\omega}{2} = \frac{\left(1-\frac{v}{c}\cos\vartheta_1\right)\left(1-\frac{v}{c}\cos\vartheta_2\right)}{1-\frac{v^2}{c^2}}\sin^2\frac{\omega'}{2}$$

Liegt ϑ_2 in Richtung v, so wird die Richtung $\vartheta_1 = \vartheta$ von K' aus gemessen unter einem Winkel ϑ', der unter Vernachlässigung von Gliedern $\frac{v^2}{c^2}$ durch die Beziehung

$$2\sin\left(\frac{\vartheta'-\vartheta}{2}\right) = \vartheta' - \vartheta = \frac{v}{c}\sin\vartheta$$

bestimmt ist. Das Ruhsystem legen wir in die Sonne, das Beobachtersystem in die Erde, die sich in einem bestimmten Zeitmoment geradlinig mit der Geschwindigkeit v bewegt (Fig. 4a). Ein Lichtsignal, von einem Stern ausgehend, laufe in K unter einem Winkel ϑ; er wird von der Erde aus gemessen unter einem Winkel ϑ'

$$\vartheta' - \vartheta = \frac{v}{c}\sin\vartheta$$

Somit ergibt sich $\vartheta' > \vartheta$; da aber das Licht von unten einfällt, muß das Fernrohrobjektiv in Richtung v vorgerückt sein. Diese Beziehung kann selbstverständlich nicht nachgeprüft werden. Allein $^1/_2$ Jahr später hat die Erde ihre Geschwindigkeit v umgekehrt, die Richtung ϑ (Fig. 4b) auf der Sonne ist unverändert geblieben, wird aber von der Erde aus unter einem Winkel

$$\vartheta'' - \vartheta = \frac{v}{c}\sin\vartheta$$

gemessen. *Die unverändert gebliebene Richtung ϑ wird somit von der Erde aus im Intervall $^1/_2$ Jahr unter Winkeln gemessen, deren Differenz*

$$\vartheta' - \vartheta'' = \frac{2v}{c}\sin\vartheta\,.$$

Oder einfacher: Das Ruhsystem K bilde die Erde, das Beobachtersystem K' ebenfalls die Erde, aber $^1/_2$ Jahr später; als Relativgeschwindigkeit ist $2v$ anzusetzen und die Fixsternrichtung ϑ in K wird $^1/_2$ Jahr später in K' zu ϑ'

$$\vartheta' - \vartheta = \frac{2v}{c}\sin\vartheta$$

gemessen.

Somit ergibt sich auf Grund der speziellen Relativitätstheorie eine Aberrationskonstante $= \frac{v}{c}$, in Richtung und Größe bis auf Glieder höherer Ordnung mit den Beobachtungen übereinstimmend. Die Aberration kommt aber nicht zustande durch die Relativbewegung der Erde gegen die Sterne, sondern durch die Relativbewegung der Erde gegen sich selbst. Um die Umlaufsbewegung der Erde und die damit verbundene Richtungsumkehr von v zu behandeln, muß selbstverständlich auf die allgemeine Relativitätstheorie zurückgegriffen werden; allein der große Krümmungsradius der Bahn gestattet, in jedem Momente die Formeln der spezielleren Theorie anzusetzen. Daß die Relativbewegung Erde—Stern für das Aberrationsproblem ohne jede Bedeutung

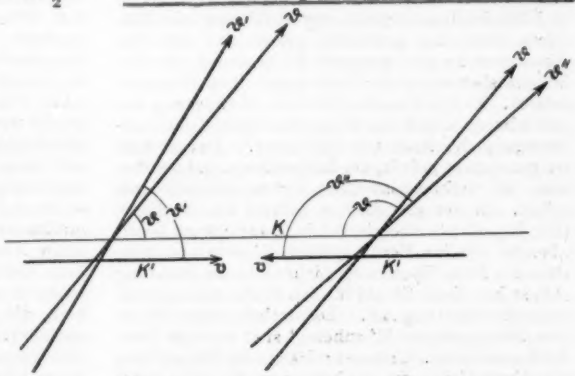


Fig. 4a. Fig. 4b.

Zustandekommen der Aberration nach der speziellen Relativitätstheorie.

ist, geht aufs anschaulichste aus einem von THIRRING gegebenen Beispiele hervor. Durchläuft die Komponente eines Doppelsternes eine der Erdbahn kongruente, in derselben Ebene liegende Bahn synchron mit der Erde, so fehlt zwischen ihr und der Erde Relativbewegung vollständig, trotzdem ergibt sich nach unseren Ausführungen dem irdischen Beobachter für die Komponente (und dem Beobach-

ter auf der Komponente für die Erde) eine Aberrationskonstante $\frac{v}{c} = 20{,}47''$.

In seiner eingangs erwähnten Arbeit geht THIRRING, unnötigerweise die allgemeine Theorie benützend und so auf eine Berechnung der Aberrationskonstanten verzichtend, aus von einer Gegenüberstellung der Bewegung der Erde und der Komponente eines Doppelsternes. Diese gestaltet sich nach meiner Auffassung vielmehr so: Die Erde läuft um die Sonne mit der Geschwindigkeit v, der Begleiter um den Hauptstern in hinreichend gestreckter Bahn mit der Geschwindigkeit $p \cdot v$. Dann ergibt sich für den irdischen Beobachter für beide Komponenten des Doppelsternes die gleiche Aberrationskonstante $\frac{v}{c}$, dem Beobachter auf der Doppelsternkomponente aber eine für Erde und Sonne gleiche Aberrationskonstante im Betrage $p \cdot \frac{v}{c}$.

Die hier gegebene Darstellungsweise der Aberration kann natürlich dem Kenner der Relativitätstheorie kaum etwas Neues bieten; ich habe sie lediglich so ausführlich gehalten, um vorhandene Mißverständnisse aufzuhellen; denn es kann nicht geleugnet werden, daß verschiedene vorliegende Fassungen wider Erwarten Anlaß dazu geben können. Wenn ich einige hier anführe, geschieht es in erster Linie, um den springenden Punkt nochmals hervorzuheben. So lesen wir in der so sorgfältig redigierten gemeinverständlichen Schrift von EINSTEIN (S. 33): „Ich erwähne hier als besonders wichtig, daß die Relativitätstheorie in überaus einfacher Weise in Übereinstimmung mit der Erfahrung die Einflüsse abzuleiten gestattet, welche das von den Fixsternen zu uns gesandte Licht durch die Relativitätsbewegung der Erde gegen jene Fixsterne erfährt. Es ist dies die jährliche Wanderung des scheinbaren Ortes der Fixsterne infolge der Erdbewegung der Erde um die Sonne." Der 2. Satz ist ganz exakt gefaßt, der Schluß des 1. Satzes aber kann zu verhängnisvollem Irrtum Veranlassung geben. In der gründlichen Schrift von V. LAUE (Die Relativitätstheorie Bd. I, S. 120) ist zu lesen: „Sendet ein im Bezugssystem K' ruhender Fixstern der Erde (System K) Licht zu in der Richtung AB, so hat dieser Strahl für den Beobachter auf der Erde die Richtung AF." Die entbehrlichen Worte „im Bezugssystem K' ruhend" sind falscher Deutung ausgesetzt. Und wenn PAULI die Darstellung der Aberration in seinem bekannten Enzyklopädieartikel mit den Worten schließt: „Die Relativitätstheorie bringt hier insofern eine prinzipielle Vereinfachung, als die Fälle bewegte Lichtquelle — ruhender Beobachter und ruhende Lichtquelle — bewegter Beobachter völlig identisch werden" (welcher Satz von TOMASCHEK ohne weiteres als mit den Beobachtungen im Widerspruch bezeichnet wird), so könnte noch beigefügt werden, daß diese Beziehung, welche für den Dopplereffekt von Wichtigkeit ist, im Aberrationsproblem in beiden Fällen gegenseitige Ruhe bedeutet.

Ich habe in vielleicht schwerfällig erscheinender und ungewohnter Weise stets nur von Lichtsignalen und signalisierenden Sternen gesprochen. Damit sollte auf das Nachdrücklichste betont werden, daß die Nichtexistenz einer Relativbewegung zwischen Lichtquelle und Beobachter sich nur auf die Ausbreitung der Wellenfront, nicht aber, wie schon der Dopplereffekt anzeigt, der Wellen, der Phasen bezieht. Da es sich im Aberrationsproblem aber nur um Richtungen handelt, im Weltenraum der Brechungsexponent 1 gilt und der Strahlkrümmung in der Erdatmosphäre stets Rechnung getragen wird, kann schließlich Strahlrichtung durch Richtung der Frontnormale ersetzt werden, wodurch sich für die der Beobachtung allein zugänglichen Wellen dieselbe Aberrationskonstante ergibt.

Zum Schlusse noch eine Bemerkung. Wenn Herr TOMASCHEK in bezug auf das Aberrationsproblem schreibt[1]): „Einen rein formalen Ausweg, unter Verzicht auf das anschauliche physikalische Denken versucht die Relativitätstheorie, welche jedoch, wie nicht zu leugnen ist, bereits sehr vielseitigen Bedenken unterworfen ist, vor allem aber prinzipiell einer anschaulichen Auffassung der Erscheinungen aus dem Wege geht, wie sie am stärksten durch die Abschaffung des Äthers charakterisiert ist", so möchte ich energisch widersprechen. Was bei Interpretation beobachteter Erscheinungen als formal aufgefaßt wird, ist schließlich Geschmackssache (ist die Einführung der Begriffe Masse, Kraft, Potential, Entropie usw. formal oder nicht?), hingegen kann sicher behauptet werden, daß auf dem Gesamtgebiete der Physik keine Theorie die spezielle Relativitätstheorie an Klarheit und Durchsichtigkeit des Aufbaues übertrifft; kann ihr Inhalt doch in den anschaulichen, physikalisches Denken so befriedigenden Satz zusammengefaßt werden, daß in allen Inertialsystemen sich alle Prozesse auf gleiche Weise abspielen. Erweist sich dieser Grundsatz, und nur Beobachtung, nicht Spekulation kann darüber entscheiden, als richtig, so kann der Umstand, daß seine theoretische Formulierung, und das nur gelegentlich, zu verwickelteren Ausdrücken führt, der Theorie unmöglich zum Vorwurfe gemacht werden, und wird überreichlich aufgewogen durch Klarheit und Wirksamkeit, die sie auf sonst unzugänglichen Gebieten entfaltet. Dabei muß freilich mit den Vorstellungen von Raum und Zeit, wie sie uns durch jahrhundertlange Überlieferung eingewurzelt sind, gebrochen werden; daß diese aber nicht als unantastbar zu betrachten sind, wird namentlich von EDDINGTON im einleitenden Kapitel zu „Space, Time and Gravitation" anschaulich dargelegt, und ist auch von anderer Seite wiederholt betont worden. Die neuen Auffassungen von Raum und Zeit verlieren bei näherer Beschäftigung auffallend rasch ihre anfängliche Fremdartigkeit und gewinnen, namentlich in den bekannten graphischen Darstellungsweisen,

[1]) R. TOMASCHEK, Über Aberration und Absolutbewegung, Ann. d. Physik **74**, 136. 1924.

dem anschaulichen physikalischen Denken ungleich mehr Leben und Bedeutung wie bisher, wo Raum und Zeit gleichsam nur als zwei leere Behälter zur Seite stehen, bestimmt, das Geschehende in sich aufzunehmen. Eine jede prinzipiell neue Theorie stößt anfangs auf ähnliche Schwierigkeiten. Die neuen Zeit- und Raumbegriffe werden allen, die guten Willens sind, rasch geläufig, um so rascher, je früher und je vollständiger sich der Bruch mit den älteren vollzieht. Principiis obsta! Nichts wäre verfehlter, als die neuen Vorstellungen durch allmähliches Umkrempeln der alten gewinnen zu wollen; wäre dieser Weg gangbar, so gäbe es überhaupt keine Relativitätstheorie.

Aufgaben der Strömungsforschung[1]).

Von L. PRANDTL, Göttingen.

Es war der Wunsch der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, daß in diesem Vortrage die Aufgaben der Strömungsforschung näher auseinandergesetzt werden möchten, denen das heute einzuweihende Institut gewidmet sein soll. Diesem Wunsche werde ich im folgenden nachkommen; vorher aber drängt es mich, in einem kurzen Rückblick derer zu gedenken, denen das Institut seine Entstehung verdankt.

Der erste Name, der hierbei genannt werden muß, ist der des großen Organisators der Göttinger Mathematik und Physik, FELIX KLEIN, auf den alle Institute der angewandten Wissenschaften in Göttingen zurückgehen. Unser Institut ist mit seiner Person besonders eng verknüpft, wie ich gleich noch schildern werde. Ich hatte gehofft, ihm am heutigen Tage meinen besonderen Dank abstatten zu können für alles, was ich durch ihn hier erreichen konnte und was ich ihm sonst verdanke, und ich glaube sicher zu sein, daß Sie alle sich gern diesem Dank angeschlossen hätten. Aber wie Sie wissen, haben wir ihn vor drei Wochen zur letzten Ruhe bestattet. In dem Wunsche, sein Andenken zu ehren, habe ich hier sein Bild anbringen lassen; es wird dauernd einen Ehrenplatz in diesem Hause erhalten.

Wenn ich nun die Wirksamkeit KLEINS für das Institut schildern soll, so möchte ich zunächst betonen, daß es ganz allein KLEINS Gedanke war, den Anwendungen der exakten Wissenschaften in Göttingen einen Platz zu schaffen, und daß er seine Pläne gegen die heftigsten Widerstände von außen wie von innen durchzusetzen verstanden hat. Ohne KLEIN wäre z. B. ich selbst, von Hause aus Ingenieur, niemals nach Göttingen gekommen. Dies ist es aber nicht, was ich vorhin meinte, sondern KLEIN hat in drei Phasen in durchaus entscheidender Weise in die Entwicklung eingegriffen, deren Endergebnis die Verwirklichung dieses Institutes ist. Die eigentliche Vorgeschichte beginnt mit dem Jahre 1906, mit der Gründung der „Motorluftschiff-Studiengesellschaft" durch ALTHOFF und RATHENAU sen. Diese Gesellschaft berief einen umfangreichen Technischen Ausschuß. in den durch die Verbindung, die KLEIN mit ALTHOFF unterhielt, drei Göttinger berufen wurden, außer KLEIN selbst WIECHERT und ich. KLEIN wurde „Sprecher" der dynamischen Gruppe und verteilte die Aufgaben dieser Gruppe. Er hatte sich zum Ziel gesetzt, daß Göttingen sich in der Luftfahrtforschung intensiv beteiligen müsse, und so stellte er mir die Aufgabe, etwas vorzuschlagen, was von meinem Fach (der Strömungslehre) aus für die Luftschiffahrt getan werden könne. Ich schlug damals eine Modellversuchseinrichtung für Luftschiffe und Flugzeuge vor und erhielt bald nachher Mittel für Vorarbeiten. Ein halbes Jahr darauf hatte ich fertige Pläne und auf KLEINS Fürsprache wurde die Bausumme, ganze 20 000 M., bewilligt und der Bau begonnen. Durch Werbung bei verschiedenen Stellen verstand KLEIN auch die erforderlichen Betriebsmittel herbeizuschaffen; die kleine Anstalt, die nach der Auflösung der Motorluftschiff-Studiengesellschaft in den Besitz der Göttinger Universität übergegangen war, hat so bis 1918, wo sie stillgelegt wurde, eine sehr ersprießliche Tätigkeit entfalten können.

Inzwischen war von v. HARNACK die „Kaiser Wilhelm-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften" gegründet worden; es war nun ein echt KLEINscher Gedanke, angesichts der für damalige Begriffe recht erheblichen Mittel, über die die neue Gesellschaft zu verfügen schien, den Schluß zu ziehen, daß Göttingen Anteil an diesen Mitteln haben müsse. Ich erhielt den Auftrag, eine Denkschrift auszuarbeiten über ein „Forschungsinstitut für Hydrodynamik und Aerodynamik". Ich habe mich, ohne viel Zutrauen zu dem meinem Gefühl nach reichlich kühnen Plan, des Auftrages nach besten Kräften entledigt. Wenn meine Eingabe und ein später nachgefolgter ins einzelne gehender Entwurf bei der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft dann doch Beachtung gefunden haben, so habe ich hier eines andern Mannes in Dankbarkeit zu gedenken, der die Angelegenheit innerhalb des Senats der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft vorwärts trieb, HENRY TH. VON BÖTTINGER. Als erster Vorsitzender der „Göttinger Vereinigung zur Förderung der angewandten Physik und Mathematik" war er mit KLEIN eng befreundet. Über diese „Göttinger Vereinigung" mag hier gesagt werden, daß sie zu einer Hälfte aus führenden Industriellen, und zur anderen aus Göttinger Professoren bestand, und daß das Wertvollste an ihr nicht die von den Industriellen gewährten Geldmittel, sondern die persönliche Fühlungnahme zwischen den Vertretern der Wissenschaft und denen des werktätigen

[1]) Festvortrag, gehalten bei der Einweihung der Neubauten des Kaiser Wilhelm-Instituts für Strömungslehre am 16. Juli 1925.

Schaffens war. BÖTTINGER hatte übrigens in Göttingen wertvolle Grundstücke erworben, mit dem ausgesprochenen Zweck, daß darauf Institute errichtet werden sollten. Er hat später das Grundstück der Aerodynamischen Versuchsanstalt, deren erster Kuratoriums-Vorsitzender er wurde, geschenkt, und seine Erben haben der Kaiser Wilhelm-Gesellschaft nicht nur den Grund für dieses neue Institut, sondern noch ein ansehnliches Gelände für Erweiterungsbauten geschenkweise überlassen.

Dank der Hilfe von BÖTTINGER bestanden nach recht schwierigen Verhandlungen im Sommer 1914 gute Aussichten auf eine baldige Verwirklichung des Forschungsinstitutes, als der Kriegsausbruch alle Abmachungen zerschlug. Wieder war es nun KLEIN, der mich Anfang 1915 auf einen neuen Weg wies, den kriegswichtigen Teil des Instituts — die Aerodynamische Anstalt — mit Hilfe der Kriegsverwaltung zu schaffen. Zur wirklichen Durchführung dieses Planes hat nun wieder BÖTTINGER sehr viel beigetragen und die Kaiser Wilhelm-Gesellschaft, bei der ich nun schon eingeführt war, nahm das Institut unter ihre Fittiche.

Ich habe nun noch vom letzten Entwicklungsabschnitt zu berichten, der zu diesem Neubau geführt hat. Infolge der unglücklichen Verhältnisse nach dem Kriege schien es, als ob die Aerodynamische Anstalt die Ergänzung durch die übrigen Teile des früher geplanten Instituts nicht mehr erfahren würde, und so entschloß ich mich, als ich einen Ruf an eine sehr wichtige Lehrstelle der Münchener Technischen Hochschule erhielt, diesen anzunehmen, da ich die Göttinger Anstalt bei meinem treuen Mitarbeiter Dr. BETZ in guten Händen wußte, selbst aber in München wichtigere Aufgaben sah, als sie mir in Göttingen verblieben wären. Man hat mir dann aber zu meiner eigenen großen Überraschung — zu einer Zeit, wo anderwärts die wichtigsten Arbeiten aus Mangel an Mitteln eingestellt werden mußten — das neue Institut angeboten und mir dadurch die Abänderung des schon gefaßten Entschlusses, nach München zu gehen, ermöglicht. Ich weiß, welcher zähen und immer wieder vergeblich erscheinenden Arbeit es bedurft hat, die Behörden in so schwerer Zeit zur Hergabe von immerhin nicht unbeträchtlichen Mitteln zu bewegen, und ich möchte hier allen in Betracht kommenden Stellen, besonders aber auch einem Gönner, der durch sein persönliches Eingreifen erst die Durchführung des Baues ermöglichte, herzlichsten Dank sagen für die Hilfe, die sie unseren Plänen haben angedeihen lassen.

Wenn man nun das abgerundete Institut mit dem Entwurf von 1912 vergleicht, so zeigt sich, daß der im Krieg gebaute Teil ungefähr die dreifache Größe des Friedensentwurfes erhalten hat, während der neue Bau allerdings sich gegenüber dem früheren Plan eine recht starke Einschränkung hat gefallen lassen müssen. So hat sich der Schwerpunkt also stark verschoben, aber wir wollen uns dessen freuen, was wir nun haben, und es wird sich sicher auch recht viel mit dem verkleinerten Institut machen lassen.

Ich komme jetzt zu den Aufgaben des Instituts: Es ist vor allem dem *systematischen Studium der Strömungen* gewidmet, im Gegensatz zu anderen Anstalten, die ganz bestimmte technische Aufgaben bearbeiten. Um das Gebiet unserer Forschungsaufgaben besser kennzeichnen zu können, muß ich ein wenig über die physikalischen Eigenschaften sprechen, die die Flüssigkeiten charakterisieren. Diese sind, soweit sie hier in Betracht kommen, Dichte, Zähigkeit und Zusammendrückbarkeit. Die *Dichte*, gemessen durch die Masse, die in der Einheit des Volumens enthalten ist, kann dabei wohl als bekannt gelten. Die *Zähigkeit*, auch innere Reibung genannt, mag hier einfach dadurch der Vorstellung nahe gebracht werden, daß dickes Öl oder flüssiger Leim als Beispiele von besonders zähen Flüssigkeiten und Wasser und noch mehr Alkohol und Benzin als solche besonders wenig zäher Flüssigkeiten genannt werden. Unter der *Zusammendrückbarkeit* wollen wir ganz allgemein das Verhalten gegenüber wechselnden Drücken, also nicht nur gegen Druckvermehrung, sondern auch gegen Druckverminderung ansehen. Die Luft z. B., die wir hier durchaus unter die Flüssigkeiten rechnen wollen, ist verhältnismäßig stark zusammendrückbar. Sie ändert das Volumen um etwas weniger als 10%, wenn sie bei Atmosphärendruck als Ausgangszustand eine Druckerhöhung von $^1/_{10}$ at erfährt. Bei Wasser, das häufig als unzusammendrückbar gilt, sind solche Volumenänderungen übrigens auch möglich, erfordern aber rd. 2000 at. Im übrigen wird auch die Luft praktisch wie eine unzusammendrückbare Flüssigkeit strömen, wenn die dabei auftretenden Druckunterschiede klein gegen $^1/_{10}$ at bleiben. Dies ist dann der Fall, wenn die Geschwindigkeiten klein sind gegen die Schallgeschwindigkeit.

Beim Wasser kommt es bei Druckverminderung bis nahe an das Vakuum heran zur Ausscheidung von Luft und zur Bildung von Dampfblasen, die dann bei erneuter Drucksteigerung wieder unter großem Getöse, und verbunden mit Zerstörungen an den mit dem Wasser in Berührung stehenden festen Körpern, zusammenstürzen. Man nennt diesen Vorgang *Kavitation* (Hohlraumbildung).

Wie mannigfaltig die zu erforschenden Erscheinungen bei der Flüssigkeitsströmung sind, mag daraus hervorgehen, daß bei ein und derselben Anordnung von festen Körpern, zwischen denen oder um die herum die Strömung vor sich geht, die Strömung jedesmal immer wieder anderen Charakter erhält, wenn der Anteil der Zähigkeit und der der Zusammendrückbarkeit an der Bewegung sich ändert. OSBORNE REYNOLDS hat vor ungefähr 40 Jahren gezeigt, daß es, soweit die Zusammendrückbarkeit keine Rolle spielt, auf das Verhältnis der Trägheitswirkungen zu den Zähigkeitswirkungen ankommt, das durch die reine Zahl

$$\frac{\text{Länge} \times \text{Geschwindigkeit} \times \text{Dichte}}{\text{Zähigkeit}}$$

darstellbar ist, Ist diese Zahl, die man ihm zu Ehren „REYNOLDSsche Zahl" nennt, in zwei Fällen vergleichbarer Art (also z. B. Bewegung einer Kugel in Luft und einer anderen Kugel in Wasser) dieselbe Zahl, so sind auch die strömenden Bewegungen genau vergleichbar, in anderen Fällen dagegen nicht[1]). Man wird also nach dem Gesagten verstehen, was mit der Forderung gemeint ist, daß irgend ein Strömungsvorgang durch alle REYNOLDSschen Zahlen hindurch verfolgt werden müsse. Für die Kugel z. B. ist diese Arbeit, was die Messung des Widerstandes bei der Bewegung in einer Flüssigkeit betrifft, von REYNOLDSschen Zahlen unter 1 bis etwa zu 1 000 000 hin geleistet, und es zeigen sich hier 4 oder 5 wesentlich voneinander verschiedene Gesetze, je nach der Größe der REYNOLDSschen Zahl. Noch zu erforschen sind aber die zu diesen Widerstandskräften gehörenden Strömungsformen, denn erst durch diese wird man die beobachteten Gesetze verstehen lernen.

Wenn man an alle möglichen zu untersuchenden Körper denkt, so ist die Zahl der anzustellenden Versuche ungeheuer. Man wird daher von selbst dazu geführt, nur Körper von technischer Wichtigkeit, also neben Kugeln, Zylindern und Rotationskörpern vor allem Flugzeugtragflächen, Propeller- und Turbinenschaufeln usw. zu untersuchen. Mit Rücksicht auf die manchmal in der praktischen Anwendung auftretenden höheren Geschwindigkeiten, die bei Luft die Schallgeschwindigkeit erreichen oder sogar überschreiten, bei Wasser die Kavitationsgrenze erreichen, müssen im Laboratorium dieselben Geschwindigkeiten verwirklicht werden.

Bisher sprach ich nur von den in Flüssigkeiten bewegten Körpern. Für die in Röhren oder Gefäßen strömenden Flüssigkeiten gilt aber ganz Entsprechendes. Die Widerstände und Strömungsformen in geraden und krummen Röhren, in Abzweigstücken, in Absperrvorrichtungen usw. sind ebenfalls systematisch zu untersuchen. Die Vorgänge in umlaufenden Maschinen, wenigstens das Prinzipielle an diesen, kommen hinzu. Weiter interessieren auch die freien Flüssigkeitsstrahlen und die verschiedenen Bewegungsformen freier Flüssigkeitsoberflächen, Schwallbildungen u. dgl., ferner auch die Fließvorgänge in natürlichen Flußläufen und künstlichen Gewässern, bei denen die Fortbewegung der Flußsohle durch das Wasser und die dauernde Neubildung des Bettes durch die fortgeschwemmten und wieder angelagerten Geschiebeteile noch manche Aufgabe zu lösen geben. Auch die Strömungsvorgänge in der freien Atmosphäre sollen in den Kreis unserer Betrachtungen einbezogen werden. Schließlich sei auch die Anwendung der Strömungslehre auf die Lebewesen nicht vergessen, Die Fortbewegung der Wassertiere vom wimperschlagenden Infusorium bis zum schnellen Delphin, die der Flugtiere vom winzigen Mückchen bis zum Adler weist durch die sehr verschieden angewandten Mittel schon darauf hin, daß bei den kleinen REYNOLDSschen Zahlen ganz andere Bedingungen als bei den großen herrschen. Ich bemerke dazu, daß ein Versuch mit einem vergrößerten Modell eines Infusoriums nach dem REYNOLDSschen Gesetz durchaus möglich ist. Man braucht nur das Modell in eine sehr zähe Flüssigkeit zu setzen und es sehr langsam zu bewegen.

Wenn ich nun kurz auf die Einrichtungen des neuen Instituts eingehe, so muß gesagt werden, daß wir bestrebt waren, mit den begrenzten Mitteln möglichst viel zu erreichen. Die beiden hier aufgestellten Kessel von je rd. 10 cbm Inhalt können in sehr verschiedener Art benutzt werden. Einmal können sie luftleer gemacht werden, und es wird durch eine Einrichtung, die erst noch geschaffen werden muß, ermöglicht werden, daß die atmosphärische Luft, durch eine Rohrleitung stürzend, die Kessel in wenigen Sekunden wieder füllt. Wir erhalten so auf kurze Zeit einen Luftstrom von ansehnlichem Querschnitt mit einer sehr großen Geschwindigkeit, in dem wir Widerstandsversuche u. dgl. machen können. In Verbindung mit einer 20 cbm fassenden Gasglocke kann dieselbe Einrichtung zur Eichung von Düsen und anderen Vorrichtungen zur Luftmengen-Messung verwendet werden. Die beiden Kessel können ferner durch einen Kompressor mit Druckluft beschickt werden, in der ausfließenden Druckluft können dann Versuche gemacht werden. Weiter kann ein Kessel mit Druckluft und der andere mit Wasser gefüllt werden, und es kann nun das Wasser durch die Druckluft ausgetrieben werden, wodurch in der Wasserströmung auf kurze Zeit so große REYNOLDSsche Zahlen erzielt werden, wie sie sonst nur mit gewaltigen Pumpmaschinen zu erreichen wären. Weiter ist eine Umlaufpumpe vorhanden, die in den Wasserkessel arbeitet. Durch Wegpumpen der Luft aus dem Kessel kann dabei der Druck erniedrigt werden, so daß in der zu Versuchen dienenden Umlaufleitung, die noch im Bau ist, Kavitation eintritt. Für den Vergleichsversuch ohne Kavitation kann nötigenfalls durch Einleiten von Druckluft in den Wasserkessel der Druck in der Umlaufleitung erhöht werden. Die Pumpe kann auch in ein offenes Gerinne arbeiten und gibt so die Möglichkeit für Versuche ähnlich wie in Flußbaulaboratorien. Das Gerinne dient im übrigen auch als Schlepptank für Widerstandsversuche. Die heute vollendeten Versuchsanlagen sind damit aufgezählt. Es werden noch hinzukommen mehrere Tanks, hauptsächlich für Aufnahme von Strömungsbildern aller Art, einige Gebläse zur Erzeugung von Luftströmungen in Rohren und Kanälen und auch als Studiengegenstände für sich selbst und schließlich ein rotierendes Zimmer, in dem Versuche an rotierenden

[1]) Der Bau der REYNOLDSschen Zahl zeigt, daß kleine Abmessungen und kleine Geschwindigkeiten ebenso wirken wie große Zähigkeit und umgekehrt.

Objekten von mitrotierenden Beobachtern gemacht werden können. Dabei wird, abgesehen von Aufgaben des Turbinenbaues (Untersuchung eines isoliert rotierenden Schaufelkanals), auch die Meteorologie, mit der wir uns schon jetzt theoretisch beschäftigen, zum Wort kommen. Bei den Windströmungen auf der Erde ist nämlich die Erddrehung vom ausschlaggebendem Einfluß. Solche Strömungen können also nur im rotierenden Laboratorium einigermaßen nachgeahmt werden.

Wenn ich von der Vakuumanlage und von dem rotierenden Zimmer absehe, dann sind alle Einrichtungen des Laboratoriums nichts an sich völlig Neues. Viele von den Versuchen sind in Sonderheit schon früher in kleinerem Maßstab in meinem hiesigen Institut für angewandte Mechanik gemacht worden, so daß wir auf manchem Gebiet schon Erfahrung besitzen und auch schon ungefähr wissen, was sich ergeben wird. Ich erwarte daher von dem neuen Institut weniger aufsehenerregende Entdeckungen als vielmehr eine solide systematische Durchforschung des ganzen Gebietes, zum Besten der an unserem Arbeitsgebiet interessierten Industriezweige, und damit auch des allgemeinen Volkswohles.

Über die Ausbreitung des Schalles in der Atmosphäre.

Von B. GUTENBERG, Darmstadt.

Seit vorigem Jahre werden von Zeit zu Zeit Sprengungen veranstaltet, um die Schallgeschwindigkeit in der Atmosphäre feststellen zu können. Bereits seit 1904 weiß man, daß bei stärkeren Explosionen zwei Gebiete auftreten, in denen der Schall wahrgenommen werden kann, und die meist durch eine Zone getrennt werden, in der nichts gehört wird, und die deswegen als „Zone des Schweigens" bezeichnet wird (vgl. Fig. 1).

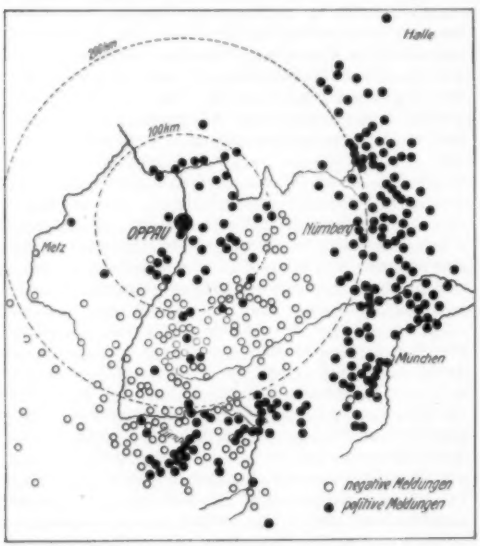


Fig. 1. Schallbeobachtungen bei der Explosion in Oppau. (Nach A. De Quervain).

Der erste, welcher genauere Feststellungen über diese Erscheinungen traf, war VON DEM BORNE[7]). Inzwischen wurden sie an zahlreichen weiteren Schallquellen studiert. Eine Übersicht über die hierbei entstandene Literatur hat A. WEGENER[1]) gegeben, während G. ANGENHEISTER[2]) eine Reihe von bei künstlichen Sprengungen festgestellten Laufzeiten der Wellen zusammengestellt hat.

Wir wollen zunächst die *innere Schallzone* („Zone normaler Hörbarkeit") betrachten. Ihre Ausdehnung ist vielfach nach verschiedenen Seiten verschieden groß, eine Folge der Wirkung des Windes, dann auch der Temperatur. Starke Zunahme des Windes mit der Höhe hat zur Folge, daß die Schallstrahlen in den untersten Kilometern der Atmosphäre umbiegen und wieder die Erdoberfläche erreichen. Die instrumentellen Messungen ergeben in allen, auch den zuletzt erwähnten Fällen Schallgeschwindigkeiten, wie wir sie auf Grund der normalen Schallformel erhalten:

$$(1) \qquad V = \sqrt{101{,}32 \frac{c_p}{c_v} \frac{\alpha T}{\delta_0}},$$

$$\text{für Luft speziell } V = \text{ca. } 20\sqrt{T},$$

wo T die absolute Temperatur an der betreffenden Stelle, V die entsprechende Schallgeschwindigkeit sind. Die größten Entfernungen, in denen der normale Schall noch gehört wurde, betrugen fast 5000 km bei der Explosion des Krakatau am 27. August 1883. Bei den seit 1903 untersuchten Fällen wurde der normale Schall nur selten über 150 km weit gehört und auch in diesen Entfernungen nur auf einer Seite der Schallquelle, nach der die Fortpflanzung durch meteorologische Verhältnisse (Temperatur und Wind) begünstigt war. Dagegen zeigten die Registrierungen von Instrumenten noch in weit größeren Entfernungen regelmäßig die Druckwelle, welche sich mit der normalen Schallgeschwindigkeit fortgepflanzt hat. Allerdings fehlen dann meist die kurzen Schwingungen, welche wir allein als Schall hören, ganz oder sie sind unter der Wahrnehmungsschwelle unseres Ohres. Der Vergleich von Aufzeichnungen aus verschiedener Entfernung von der Schallquelle ergab nach F. RITTER[3]) (vgl. Fig. 2), daß aus der ursprünglich unregelmäßigen Druckänderung nach und nach eine regelmäßige Sinuswelle wurde. Wir haben hier die gleiche Erscheinung, auf die F. LINKE bei den Wellen der seismischen Bodenunruhe ebenso wie bei den Meereswellen aufmerk-

sam gemacht hat: In allen Fällen werden die Wellen unter Anwachsen ihrer Perioden um so regelmäßiger, je weiter sie sich von der Störungsquelle entfernen. Diese Energieumlagerungen hängen vielleicht mit der Gruppengeschwindigkeit zusammen. [Vgl. [9]).]

Über den Verlauf der Strahlen, welche die *äußere Hörbarkeitszone* bilden, waren erst nähere Angaben möglich, als man die Laufzeiten feststellte. Bis dahin war die Theorie VON DEM BORNES, wonach die Schallstrahlen bis zur theoretisch in ca. 80 km beginnenden Wasserstoffsphäre laufen, ebenso leicht möglich wie die Theorien, nach welchen die Schallstrahlen bereits in der Troposphäre, also unter 10 km Höhe, aus meteorologischen Gründen umbiegen sollten. Die mit Instrumenten beobachteten Eintrittszeiten (Genauigkeit von der Größenordnung $^1/_2$ Sekunde!) zeigten jedoch, daß die anormalen Wellen rund

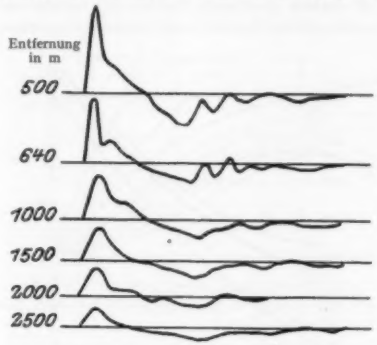


Fig. 2. Registrierung einer Schallwelle in verschiedener Entfernung von der Schallquelle. (Nach F. Ritter).

100 Sekunden später eintreffen als die normalen. In Fig. 3 ist *a* die mittlere Laufzeitkurve der normalen Schallwellen, während die beobachteten Eintrittszeiten der anormalen Wellen durch die Punkte in der Umgebung der Kurve *b* dargestellt sind. Es folgt hieraus, daß die anormalen Schallwellen einen beträchtlichen Umweg gemacht haben müssen, andererseits können sie nicht bis in 80 km Höhe gelangt sein.

Bevor wir die Bahn der anormalen Wellen untersuchen, wollen wir noch kurz einen *Überblick über die Beobachtungstatsachen* an Hand der Zusammenstellung und zum Teil auch der Ergebnisse von A. WEGENER (l. c.) geben. Die Zone anormaler Hörbarkeit trat in allen untersuchten Fällen auf; meist ist sie nur auf einer Seite der Schallquelle vorhanden, und zwar sowohl in Europa wie in Japan im Sommer *meist* im Westen, im Winter im Osten der Schallquelle; es sind jedoch auch Fälle festgestellt worden, in denen der anormale Schall fast rings um die Schallquelle festgestellt wurde. Der innere Rand der anormalen Zone liegt im Winter näher an der Schallquelle als im Sommer, und zwar schwankt seine Entfernung von der Schallquelle zwischen 125 und 230 km. Das Intensitätsmaximum liegt 15 bis 30 km vom Innenrand entfernt und ist sehr stark ausgeprägt. Im doppelten Abstand von der anormalen Zone scheint eine zweite Zone anormaler Hörbarkeit zu liegen, über die wir jedoch nur wenige Angaben sowohl von Ohrbeobachtungen wie von Instrumenten besitzen (Kurve *c* in Fig. 3).

Auch bei *detonierenden Meteoren* wurden die Hörbarkeitsverhältnisse untersucht. Es ergab sich, daß die Zone anormaler Hörbarkeit um so näher an die Schallquelle rückt, je höher der Hemmungspunkt des Meteors liegt. Bei sehr hoch gelegenen

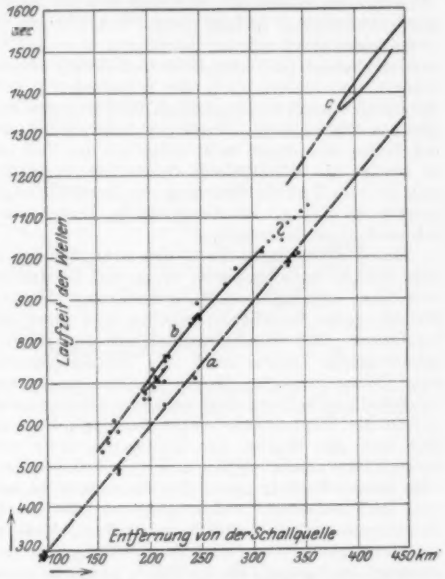


Fig. 3. Laufzeiten von Schallwellen. *a* Normale Wellen, *b* Wellen, welche in der Höhe umbiegen (vgl. Fig. 5), *c* an der Erdoberfläche reflektierte Wellen *b*.

Hemmungspunkten (40 km und mehr) scheint überhaupt keine anormale Zone mehr vorhanden zu sein. Bei dem Meteor von Obernburg, das von Dr. SCHÜTTE und Dr. BODA an der Sternwarte in Frankfurt a. M. bearbeitet wurde, ergab sich (nach mündlicher Mitteilung) ein einziges Gebiet, in dem der Schall gehört wurde, und dessen Peripherie zwischen 40 und 120 km von der Projektion des Hemmungspunktes auf die Erde entfernt ist. Dabei war der Schall an der äußeren Grenze der Schallzone besonders stark hörbar, während etwas weiter nach der Schallquelle hin die Intensität vorübergehend geringer war, vereinzelt sogar das Meteor zwar gesehen aber nicht gehört wurde.

Wir müssen nunmehr untersuchen, bei welcher *Verteilung der Schallgeschwindigkeit in der Strato-*

sphäre (über 10 km Höhe) die beobachteten Laufzeiten der Schallwellen und die übrigen Beobachtungstatsachen sich ergeben. Einen Weg, um dieses Ziel schnell zu erreichen, hat B. GUTENBERG[3]) gegeben. Wir teilen die Atmosphäre in zwei Teile, von denen wir für den unteren die Schallgeschwindigkeit kennen oder annehmen, während wir sie für den oberen berechnen. Die Beobachtungen haben gezeigt, daß sich bis 10 km Höhe die Zusammensetzung der Luft nicht ändert, während die Temperatur auf etwa $-55°$ abnimmt und dann bis etwa 30 km Höhe diesen Wert beibehält; über die Zusammensetzung der Luft über 10 km Höhe wissen wir nichts. Ist T die absolute Temperatur, so ergibt sich die Schallgeschwindigkeit V in Luft ohne Rücksicht auf die Höhe angenähert aus der Gleichung $V = 20\sqrt{T}$, d. h. wir kennen bis 10 km Höhe die Schallgeschwindigkeit und damit auch die Schallbahnen, falls der Wind überall in der gleichen Richtung und mit gleicher Stärke weht. Ändert sich der Wind mit der Höhe, was meist recht erheblich der Fall ist, so werden die Schallbahnen deformiert, es erklärt sich so zum Teil die Streuung der Beobachtungspunkte in Fig. 3, zu denen auch Temperaturschwankungen beitragen.

Durch Subtraktion der in den untersten 10 km vom Schalle zurückgelegten Wege und Laufzeiten von den entsprechenden beobachteten Werten für die ganze Schallbahn ergeben sich dann die Laufzeiten und Einfallswinkel an der Stratosphärengrenze, wobei noch das Brechungsgesetz gilt. [Näheres vgl. [3]).] Da die Schallwellen, welche die Schallquelle horizontal verlassen, bereits recht tief in die Stratosphäre eintauchen (vgl. Fig. 5), läßt sich der Beginn der Laufzeitkurve in der Stratosphäre nicht sicher festlegen, wenn auch allzu große Willkür durch Beziehungen zwischen den verschiedenen Größen eingeschränkt wird. GUTENBERG nahm zunächst an, daß die Wellengeschwindigkeit von der Stratosphärengrenze an zunimmt und erhielt die in Fig. 4 gestrichelt gezeichnete Kurve. Es ergeben sich dann alle oben erwähnten Beobachtungstatsachen. Gleichzeitig hatte E. WIECHERT[4]) versucht, durch verschiedene Annahmen über die Schallgeschwindigkeit in der Stratosphäre und durch Vergleich der hieraus berechneten Laufzeiten mit den beobachteten die mittlere Schallgeschwindigkeit in der Stratosphäre zu finden. Er fand die beste Übereinstimmung, als er voraussetzte, daß die Schallgeschwindigkeit bis zu 30 km Höhe konstant ist, dort schnell zunimmt, dann wieder bis 38 km konstant ist und dann langsam weiterwächst. Genauere Zahlen waren bei der Niederschrift nicht veröffentlicht. Die Konstanz der Schallgeschwindigkeit bis 38 km Höhe wurde zur Erklärung der Brennlinie am inneren Rande der anormalen Zone angenommen. B. GUTENBERG[5]) zeigte dann, daß man auch bei Annahme konstanter Schallgeschwindigkeit in den untersten Schichten der Stratosphäre, etwa bis 35 km Höhe, über die uns ja die Beobachtungen, wie erwähnt, nichts direktes aussagen, zu qualitativ ähnlichen Ergebnissen kommen kann wie unter seiner ersten Annahme. In Fig. 4 stellt die strichpunktierte Kurve die Geschwindigkeit der Schallstrahlen dar, die sich ergibt, wenn man die Schallgeschwindigkeit bis 35 km Höhe konstant voraussetzt. Die mittlere Schallgeschwindigkeit, die sich je nach der Temperatur und der Windstärke etwas ändert, wird wohl etwa durch die ausgezogene Kurve der Fig. 4 dargestellt werden. In Fig. 5 sind schließlich eine Reihe von Schallbahnen eingezeichnet, welche der strichpunktierten Kurve der Fig. 4 entsprechen. Die zugehörigen berechneten Laufzeitkurven sind in Fig. 3 mit *b* (für die direkten anormalen Wellen) und mit *c* (für die einmal an der Erdoberfläche reflektierten Wellen) bezeichnet und ausgezogen. Die gestrichelten Kurven in Fig. 3 sind gebeugte Wellen.

Wir haben nunmehr noch die verschiedenen Beobachtungsergebnisse abzuleiten. Zunächst er-

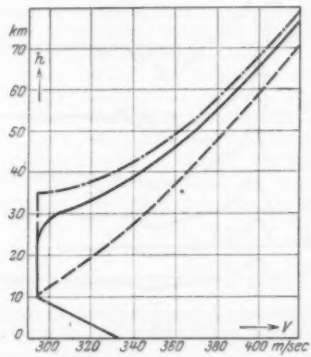


Fig. 4. Mittlere Schallgeschwindigkeit in der Atmosphäre. Die gestrichelte und die strichpunktierte Kurve stellen etwa die Grenzen dar unter der Voraussetzung, daß keine Dispersion auftritt. (Vgl. vorletzten Absatz).

kennen wir aus Fig. 5 sofort die Entstehung der „Zone des Schweigens" und der Brennlinie am inneren Rande der anormalen Zone. Die Projektionen der in den untersten 10 km zurückgelegten Strahlstücke nehmen erst schneller, dann langsamer ab, als die der Stücke oberhalb 10 km zunehmen. Infolgedessen existiert eine Minimaldistanz mit Brennpunktserscheinung (für einen Abgangswinkel von etwa 82°, in Fig. 5 gestrichelte Kurve), während in größeren Distanzen zunächst 2 Schallwellen mit verschiedenen Eintrittszeiten (Kurve *b* in Fig. 3) tatsächlich beobachtet werden. Daneben können übrigens weitere Einsätze durch Unregelmäßigkeiten in der Atmosphäre hervorgerufen werden. Mit abnehmendem Abgangswinkel werden die Distanzen, in denen der Schall zur Erde kommt, immer größer. Es scheint, als ob in 360 km Distanz nur noch ausnahmsweise

der direkte anormale Schall ankommt; es würde das darauf schließen lassen, daß die Schallgeschwindigkeit oberhalb rund 70—100 km langsamer zunimmt oder wieder abnimmt.

Im Winter ist das Temperaturgefälle in den untersten 10 km geringer, die Einfallswinkel an der Stelle, von der ab die Schallgeschwindigkeit zunimmt, größer, der Schallweg oben mehr verkürzt als er unten verlängert ist, infolgedessen liegt die Brennlinie näher an der Schallquelle. Der Wind wirkt hier natürlich auch mit. Im Sommer liegen die Verhältnisse umgekehrt. Der flache Einfall der anormalen Schallstrahlen (vgl. Fig. 5) ist die Ursache dafür, daß die anormale Zone meist stellenweise fehlt. Neben dem Wind wirkt hier die Temperatur. An den Stellen, an denen die Temperatur mehr als 8—10° über derjenigen der Schallquelle liegt, kann sich die anormale Zone nicht ausbilden, die Schallstrahlen kehren, ohne die Erde berührt zu haben, in die Atmosphäre zurück. Da bei uns im Winter hohe Temperaturen meist westlich, tiefe östlich von der Schallquelle liegen, wird im Winter die Ausbildung der anormalen Schallzone im Osten der Schallquelle begünstigt, im Winter erschwert. Im Sommer ist es in Übereinstimmung mit den Beobachtungen umgekehrt.

Auch die Meteorschallbeobachtungen entsprechen durchaus dem, was wir erwarten müssen. Wie man sich leicht an Hand der Fig. 4 klarmachen kann, wächst die normale Zone, je höher die Schallquelle liegt, gleichzeitig rückt die anormale Zone näher an diese heran, fällt schließlich an den Außenrand der normalen Zone (Meteor von Obernburg!); bei Hemmungspunkten oberhalb 30—40 km Höhe je nach der Lage des Gebietes, in dem sich die Schallstrahlen überschneiden, existiert nur noch eine normale Zone.

Es zeigt sich also, daß die in Fig. 3 gewonnenen Kurven für die Geschwindigkeit der Schallwellen in der Atmosphäre alle Beobachtungen erklären, so daß wir annehmen dürfen, damit ein qualitativ richtiges Ergebnis erzielt zu haben. Die genauere quantitative Feststellung muß an Hand einzelner Fälle mit möglichst gut bekannten meteorologischen Daten erfolgen. Die angegebene Rechnungsmethode kann dabei gute Dienste leisten.

Nunmehr ist die Frage nach der *Ursache der hohen Schallgeschwindigkeit* in den höheren Atmosphärenschichten noch zu beantworten. Hierfür sind im wesentlichen vier Hypothesen aufgestellt worden. Zunächst haben wir die alte Hypothese von VON DEM BORNE[7]) (1904), wonach die leichten Gase in der Höhe die Ursache der großen Schallgeschwindigkeit sind. Gleichung (1) gibt die Dichte δ_0 des betreffenden Gases für 0° und 760 mm Druck. Nimmt man an, daß die Temperatur nach oben *nicht zunimmt*, so ist angenähert $\delta_0 \leqq 116 : V^2$, wo das Gleichheitszeichen für konstante Temperatur gilt. Man erhält so in 40 km Höhe bereits eine erhebliche Menge von leichten Gasen, die dem Diffusionsgleichgewicht vollkommen widerspricht. Es müßte dieses also in großen Höhen nicht vorhanden sein; ein Grund hierfür ist schwer anzugeben. (Vertikalströmungen? Entstehen leichter Gase?)

Die zweite, ebenfalls recht alte Annahme macht den Windgradienten für die Ergebnisse verantwortlich. Neben anderen Argumenten wird gegen diese Hypothese treffend angeführt, daß dann die anormale Zone, entgegen den Beobachtungen, nie auf entgegengesetzten Seiten der Schallquelle in gleichem Abstand von dieser gleichzeitig entstehen kann, so daß diese Erklärung wohl unzutreffend ist.

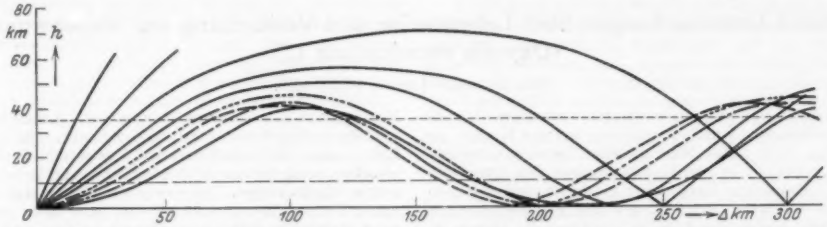


Fig. 5. Mittlere Schallbahnen in der Atmosphäre (h-Höhe Δ-Entfernung von der Schallquelle) unter der Voraussetzung, daß die strichpunktierte Kurve der Fig. 4 für die Schallgeschwindigkeit gilt. In den andern Fällen liegen die Scheitelpunkte der Strahlen tiefer.

Die dritte Hypothese nimmt Zunahme der Temperatur in der Höhe an. Sie wurde von LINDEMANN und DOBSON[8]) auf Grund von Meteorbeobachtungen aufgestellt und war schon vorher von verschiedenen Autoren [vgl. Literatur in [1])] zur Erklärung der anormalen Hörbarkeitszone herangezogen worden. Es müßte danach zwischen 30 und 40 km Höhe die Temperatur am Erdboden überschritten werden und in größerer Höhe müßten noch höhere Temperaturen herrschen, was mit allen anderen Hypothesen über die Temperatur der Atmosphäre in Widerspruch steht. Trotzdem kann diese Annahme wie auch die erste noch nicht als widerlegt angesehen werden.

Schließlich wies A. WEGENER[1]) darauf hin, daß die Schallformeln in der Höhe nicht mehr gelten, da dort der durch die Schallwelle erzeugte Überdruck groß gegen den Druck selbst wird und die Welle dann schneller läuft, als Gleichung (1)

ergibt. Diese Erklärung, die theoretisch noch nicht durchgearbeitet ist, würde einen Ausweg aus dem Dilemma bilden (unsere Ergebnisse würden an und für sich nicht davon berührt!), doch scheint die Rechnung dann einen erheblichen Einfluß der Stärke der Schallquelle zu ergeben, der nicht vorhanden ist. Andererseits darf man nicht übersehen, daß in diesem Falle die kürzesten Wellen wahrscheinlich am schnellsten laufen, d. h. es ist dann anormale Dispersion vorhanden und es müßte dann die Gruppengeschwindigkeit berücksichtigt werden.

Das vorliegende Problem zeigt besonders deutlich, wie schon die näherungsweise Lösung einer Frage stets zu neuen Problemen führt. Die Schallfortpflanzung „in der Atmosphäre" beginnt damit, sich als der Theorie der Erdbebenwellen gleichwertiger Teile der Geophysik herauszubilden. Im Prinzip haben wir es in beiden Fällen mit der gleichen Erscheinung zu tun.

Literatur.

[1]) A. WEGENER, Die äußere Hörbarkeitszone, Zeitschr. f. Geophysik **1**, 297. 1925.
[2]) G. ANGENHEISTER, Die Laufzeit des Schalles für große Entfernungen. Zeitschr. f. Geophysik **1**, 314. 1925.
[3]) B. GUTENBERG, Die Geschwindigkeit des Schalles in der Atmosphäre, Vortrag Tagung der Dtsch. geophys. Ges. 7. XII. 1925; Phys. Zeitschr. (im Druck).
[4]) E. WIECHERT, Über Luftschall; Vortrag: Tagung der Dtsch. geophys. Ges. 7. XII. 1925 (im Druck).
[5]) F. RITTER, Sprengungen für Forschungszwecke; Beitr. z. Physik d. freien Atm. **12**, 1. 1925.
[6]) B. GUTENBERG, Die Geschwindigkeit des Schalles, Zeitschr. f. Geophysik (im Druck).
[7]) G. VON DEM BORNE, Die Erdbebenwarte **4**, 1. 1904.
[8]) F. A. LINDEMANN und G. M. B. DOBSON, Proc. of the roy. soc. of London A, **102**, 411. 1923 und **103**, 339. 1923.
[9]) H. JEFFREYS, On the surface waves of earthquakes. Monthly notices of Roy. Astron. Soc. London, Geophy. Supplt. **1**, 282. 1925.

Neuere Untersuchungen über Lebensweise und Verbreitung des Madenwurms (Oxyuris vermicularis L.).

Von ARNOLD JAPHA, Halle a. S.

Der häufigste und am weitesten verbreitete Darmschmarotzer der Menschen, insbesondere der Kinder, ist der etwa 1 cm lange Madenwurm (Oxyuris vermicularis L.), der oft in ungeheuren Mengen den Darm bewohnt. Besonders lästig wird er durch den außerordentlich heftigen Juckreiz, den die geschlechtsreifen Weibchen, zumal abends beim Verlassen des Darms, in der Aftergegend hervorrufen, wodurch allerhand nervöse Erscheinungen, Schlafstörungen, Masturbation usw. vornehmlich bei Kindern ausgelöst werden. Bisher war fast jede gegen ihn angewandte Therapie erfolglos. Die Entwicklung dieses Wurmes verläuft im Gegensatz zu den meisten Darmschmarotzern ohne Zwischenwirt; die Lebensdauer des einzelnen Wurmes beträgt nur wenige Wochen. Die Aufnahme der Eier erfolgt durch den Mund, wohl meist durch die beim Kratzen mit Wurmeiern verunreinigten Finger eines Wurmträgers; hierdurch finden sowohl Reinfektionen wie Neuinfektionen bisher Gesunder statt. Man findet die Eier der Oxyuren im Gegensatz zu denen aller anderen Darmschmarotzer nur sehr spärlich im Kot, dagegen in ungeheurer Menge regelmäßig in der Umgebung der Afteröffnung.

Seit den grundlegenden Untersuchungen LEUCKARTS in den 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts, der zu der Annahme kam, daß Magenpassage für die Entwicklung der Eier notwendig und Entwicklung etwa schon im Darm abgelegter Eier unmöglich sei, ist viel Neues in den folgenden Jahrzehnten über den Madenwurm nicht veröffentlicht worden. Erst die jüngste Zeit hat, wohl wegen der durch den Krieg und seine Folgen bedingten größeren Unreinlichkeit infolge Seifenmangels usw., mit der Zunahme der Madenwürmer auch eine Reihe weiterer Untersuchungen gebracht, die alle noch unklaren Punkte in der Lebensweise dieses Schmarotzers klärten.

Zunächst versuchten einige Ärzte infolge der sehr schlechten Ergebnisse der verschiedensten Wurmkuren, die immer nur vorübergehende Besserung brachten, von jeder Behandlung abzusehen und nur hygienische Maßnahmen — äußerste Sauberkeit, Kurzschneiden der Nägel, Badehosen während der Nacht, sehr häufiger Leib- und Bettwäschewechsel, gründliches Händewaschen nach jedem Stuhlgang und vor jeder Mahlzeit — anzuwenden. Der erwartete Erfolg trat bei genauer Durchführung wohl oft ein, blieb aber zuweilen auch in solchen Fällen aus, wo mit der genauesten Befolgung der gegebenen Vorschriften gerechnet werden konnte. Hierdurch und insbesondere durch die sehr sorgsamen, jahrelang am eigenen Körper durchgeführten Beobachtungen und Untersuchungen HEUBNERS wurde die LEUCKARTsche Lehre, daß eine Entwicklung der Oxyureneier im menschlichen Dünndarm ohne Magenpassage unmöglich sei, erneut in Frage gestellt, und GOEBEL, von dem 1922 eine umfassende, die gesamte frühere Literatur berücksichtigende Arbeit über die Oxyuriasis erschien, gelang es, in vitro im verdünnten Darmsaft Oxyureneier zur Entwicklung zu bringen. Er zog hieraus den berechtigten Schluß, daß die Entwicklung der Oxyureneier im unteren Dünndarm durchaus im Bereich der Möglichkeit liege und daß deshalb immer erneute Selbstinfektion kein unbedingtes Erfordernis für das Bestehenbleiben der Oxyurenansiedlung im Darm des Menschen sei. Der Beweis hierfür — Infektion unter Umgehung des Magens — ist inzwischen durch Versuche E. W. KOCHS erbracht worden.

E. W. KOCH stellte zunächst fest, daß die Auswanderung der reifen Weibchen aus dem After nicht an bestimmte Nacht- oder Tageszeiten gebunden ist, sondern daß die Auswanderung im allgemeinen etwa $^1/_2$ Stunde nach dem Zubettgehen allmählich einsetzt und sich auf 2—3 Stunden erstreckt. Eine abendliche Auswanderung von 30—40 Würmern war ein ganz gewöhnlicher Befund, Zahlen, die aber zuweilen erheblich überschritten wurden. Die Mehrzahl waren stets legereife Weibchen, die alsbald außerhalb des Afters mit der Eiablage begannen, sobald sie die Grenze der in der Afterumgebung herrschenden Feuchtigkeit erreicht, d. h. im Höchstfalle eine Strecke von 2—3 cm zurück-

gelegt hatten. Die Eiablage aller Eier (über 12 000!) geht außerordentlich rasch vonstatten und ist in etwa 15—20 Minuten beendet, wonach die Würmer, die dann nur noch einen zusammengeschrumpften, unscheinbaren Schlauch darstellen, sehr rasch absterben und von der Haut bald danach abfallen. Rückwanderung in den Darm, die LEUCKART annahm, wurde nie beobachtet, dagegen regelmäßig Einwanderung eines Teils der Würmer in die Scheide bei Mädchen. Eine aktive, durch irgendwelche Triebe bedingte Wanderung zur Afteröffnung ist nicht anzunehmen, der Aufenthalt der noch nicht legereifen Oxyuren im Darm wird wohl nur durch Ansaugen an der Darmwand ermöglicht, das wohl durch besondere Lippenwülste und Pumpapparat im Vorderabschnitt des Wurmdarms bewirkt wird. Wenn dieser Pumpapparat durch die prall gefüllten Eischläuche bei den legereifen Weibchen zusammengedrückt wird, können sie sich nicht mehr ansaugen und werden durch die Darmperistaltik und die Kotmassen des Wirtes in die Aftergegend gedrängt, wo sie regellos herumkriechen, ein Teil wandert, wenn der Afterverschluß bei Bettruhe lockerer wird, zum After hinaus, ein Teil nach oben, bis er durch erneut andrängende Kotmassen wieder zurückgetrieben wird. Die bis zu ihrem Tode saugfähigen Männchen bleiben in den oberen Dünndarmabschnitten, wo sie nach Absterben durch den Darmsaft rasch aufgelöst werden. Den ganz jungen Oxyuren fehlt bis zur ersten Häutung Lippenwulst und Pumpapparat, daher haben fast nur in den oberen Abschnitten auskriechende Larven, deren Eier den Magen passiert haben, Aussicht, der Vernichtung durch vorzeitige Herausbeförderung mit den Kotmassen zu entgehen, die alle in den unteren Darmabschnitten auskriechenden Larven, die im Darm selbst abgelegten Eiern entstammen, zum weitaus größten Teile treffen muß.

Endlich glückte E. W. KOCH der Versuch, einen sicher wurmfreien Menschen durch Einverleibung ganzer Oxyurenweibchen mittels hohen Einlaufs zu infizieren und eine Vermehrung im Darm zu erzielen, trotzdem durch sinnreiche und sorgfältig überwachte Maßnahmen Infektion durch den Mund ausgeschlossen war, wie auch in einem anderen Falle von bestehender Oxyuriasis bei sorgfältiger Reinfektionsverhinderung selbst nach 8 Wochen keinerlei Aufhören der Verwurmung stattfand, die in dieser Zeit hätte eintreten müssen, wenn nur Neuinfektion durch Mund und Magen möglich wäre. Es ist hierdurch bewiesen, daß in scharfem Gegensatz zu der früher allgemein verbreiteten Ansicht, die Möglichkeit einer Vermehrung der Oxyuren im menschlichen Darm selbst vorliegt, wenn sie wohl auch nicht die Regel ist. Begünstigend hierfür dürfte Darmträgheit und Neigung zur Stuhlverstopfung sein. Andererseits folgt hieraus für die Behandlung, daß neben den oben erwähnten, unbedingt notwendigen hygienischen Maßnahmen eine etwa 4 Wochen dauernde milde Abführkur ohne weitere Wurmmittel genügt, da schon hierdurch die etwa im Darm ausschlüpfenden Larven an der Festheftung in diesem verhindert werden und zugrunde gehen müssen.

Eine weitere Frage war nun, ob die Vermutung mancher Autoren, daß der Wurmfortsatz vielleicht die Stelle sei, an der die ungehinderte Vermehrung der Oxyuren stattfinden könne, zutreffe; denn der Gedanke, daß die Oxyuren in manchen Fällen vielleicht nur deshalb so hartnäckig verbleiben, weil sie vom geschützten Wurmfortsatz aus daucrnd den Darm mit neuen Generationen überschwemmen, scheint durchaus einleuchtend. Sind doch Oxyuren im Wurmfortsatz ein alltäglicher Operationsbefund, weshalb nicht wenige Ärzte annehmen, daß zwischen Oxyuren und „Blinddarmentzündung" (Appendicitis) ein Zusammenhang bestände. Die Klärung dieser Frage unternahmen VON DRIGALSKI und E. W. KOCH durch Untersuchungen an Schulkindern. Wenn nämlich der Wurmfortsatz die alleinige oder doch hauptsächliche Stelle ist, in der neue Madenwurmgenerationen in Ruhe und ohne Gefahr zu früher Herausbeförderung durch Peristaltik und abwärts drängende Kotmassen heranwachsen können, so müssen Menschen, deren Wurmfortsatz operativ entfernt ist, nach der Operation häufiger von Oxyuren frei befunden werden, da bei ihnen Vermehrung im Darm nicht in Frage käme; bei Massenuntersuchungen müßte sich ein deutlicher Unterschied zwischen Blinddarmoperierten und Nichtoperierten herausstellen. Von über 20 000 halleschen Schulkindern aller Schulgattungen war 110 der Blinddarm durch Operation entfernt. 100 dieser Kinder wurden auf das Vorhandensein von Madenwürmern untersucht und zur Kontrolle 100 Nichtoperierte (jeweils der rechte Nebenmann des Operierten). Und das Resultat? 57 Wurmträger in beiden Fällen! Der Wurmfortsatz kann bei der Vermehrung der Oxyuren im Darm also keine besondere Bedeutung haben.

Endlich noch wenige Worte über die Häufigkeit der Oxyuren bei Kindern und die Technik der Untersuchung. Die früheren Statistiken, die auf Sektionsbefunden beruhten, gaben wegen der Hinfälligkeit der kleinen Würmer ebenso zu geringe Zahlen und dadurch ein falsches Bild wie Kotuntersuchungen auf Oxyureneier, da deren überwiegende Mehrzahl nicht im Darm, sondern außerhalb des Darms an der Afteröffnung abgelegt wird. Ein Abstrich der Analgegend und deren Umgebung mit dem von mir konstruierten Glasspatel eignet sich zum Nachweis von Oxyureneiern unter dem Mikroskop am besten. Eine vor einigen Jahren vorgenommene Untersuchung von 300 Knaben einer halleschen Volksschule ergab folgende Zahlen, die auch gut mit den Resultaten anderer neuerer Untersuchungen übereinstimmen:

Schuljahr	Zahl der Untersuchten	davon Oxyuren =	Prozent
1. Schuljahr	37	32	86,5
2. Schuljahr	49	41	83,7
4. Schuljahr	39	31	79,5
6. Schuljahr	75	48	64,0
7. Schuljahr	43	30	69,8
8. Schuljahr	42	27	64,3
Gesamtzahl	285	209	73,3

Aus der obenstehenden Tabelle sieht man auch deutlich, daß die Verwurmung vom 1. Schuljahr (6 bis 7jährige) mit zunehmendem Alter von 86,5% stetig bis 64% absinkt, was durch zunehmende Sauberkeit (nicht mehr so häufiges in den Mund stecken der Finger usw.) wohl bedingt ist.

Daß tatsächlich die Finger die Hauptrolle bei der Übertragung spielen, geht aus den Untersuchungen von WILHELMI und QUAST hervor, die im Winter 1923/24 in Großberliner Schulen folgende „Fingernagelprobe" anstellten: der gesamte Fingernagelrand der drei Mittelfinger beider Hände wurde zur Erweichung des Schmutzes mit 0,5—1% Natron oder Kalilauge betupft, Nagelwurzel und Nagelrand wurden dann mit Wattekügelchen und Pinzette gereinigt, die Wattebäuschchen in 1% Natronlauge ausgespült, der zentrifugierte Bodensatz mikroskopisch geprüft. Von den untersuchten 637 Kindern zeigten 387, also rund 61%, Oxyureneier im Fingernagelschmutz!

Literatur:

VON DRIGALSKI und E. W. KOCH: Über die Bedeutung des Wurmfortsatzes für die Entstehung der Oxyuren. Untersuchungen an 200 Schulkindern. Dtsch. med. Wochenschr. 1925, Nr. 8.

GOEBEL: Die Oxyuriasis. Ergebn. d. inn. Med. u. Kinderheilk. **22**, 106—138. 1922.

HEUBNER: Studien über Oxyuriasis. Jahrb. f. Kinderheilk. **98**, 1—21. 1922.

JAPHA: Die Verbreitung von Oxyuris vermicularis bei Schulkindern. Münch. med. Wochenschr. 1925, Nr. 12.

KOCH, E. W.: Oxyurenfortpflanzung im Darm ohne Autoreinfektion und Magenpassage. Zentralbl. f. Bakteriol,, Parasitenk. u. Infektionskrankh., Abt. 1, Orig. **94**, H. 3/4. 1925.

KOCH, E. W.: Die Radikalheilung der Oxyuriasis. Dtsch. med. Wochenschr. 1925.

WILHELMI und QUAST: Über die Verbreitung und den Nachweis der Oxyuriasis. Klin. Wochenschr. 4. Jg., Nr. 20.

Besprechungen.

HERING, M., **Biologie der Schmetterlinge.** Biologische Studienbücher III, herausgegeben von WALTHER SCHOENICHEN. Berlin: Julius Springer 1926. 480 Seiten mit 82 Textabbildungen und 13 Tafeln. 16 × 24 cm. Preis geh. 18, geb. 19,50 Reichsmark.

In der Fülle der bereits vorhandenen Bücher, welche die bunte Welt der Falter behandeln, nimmt das neu erschienene Werk von HERING einen besonderen Platz ein: es beschreibt nicht die Gattungen und Arten nach üblicher Weise in nüchterner Reihenfolge, es ist kein Bestimmungsbuch, an denen bei dieser Insektengruppe wahrlich kein Mangel herrscht, sondern befaßt sich mit den lebenden Tieren, indem es die Biologie der Schmetterlinge der ganzen Erde von großen allgemeinen Gesichtspunkten aus darstellt. Man darf dem Herausgeber der biologischen Studienbücher dazu beglückwünschen, daß es gelungen ist, einen Autor zu finden, der den gewaltigen Stoff zu meistern imstande war. In der Tat sind hier aus der gesamten weit zerstreuten Weltliteratur wohl alle wichtigeren Beobachtungen zusammengetragen und mit großer Sachkenntnis und Umsicht zu einem einheitlichen Gesamtbild vereinigt worden. Vielfach hat der Verf. hierbei auch aus dem eigenen reichen Schatze seiner Erfahrungen schöpfen können, wie dies namentlich bei Besprechung der minenbewohnenden Arten ersichtlich ist. Auf Einzelheiten des Inhaltes kann hier nicht eingegangen werden, nur soviel sei gesagt, daß in dem einleitenden Teil auch die Grundzüge des Körperbaues behandelt worden sind, soweit dies zur Beurteilung der Lebensweise wesentlich war. Dankenswert ist, daß der Verf. hieran einen Abschnitt über die Stammesgeschichte und die verwandtschaftlichen Beziehungen der Schmetterlingsgruppen zueinander gefügt hat. Zumal die knappe Kennzeichnung der verschiedenen Schmetterlingsfamilien in Form einer analytischen Tabelle wird sicherlich vielen willkommen sein. Das Werk gliedert sich im übrigen in 3 Hauptteile, von denen der erste die Entwicklung beginnend vom Ei an, der zweite die Lebensweise der fertigen Schmetterlinge und der dritte eine Reihe allgemeinerer Probleme behandelt. In diesem dritten umfangreichsten Abschnitt werden unter anderem die geographische Verbreitung der Schmetterlinge, die Erscheinungen des Generationswechsels, das Leben im Wasser, in Minen und Gallen, Symbiose, Instinktleben und ähnliches geschildert, ebenso wie die Ergebnisse der experimentellen Forschung und die Fragen der wirtschaftlichen Bedeutung wenigstens in den Hauptpunkten berücksichtigt sind. Man folgt dem Verf. gern bei dieser Wanderung durch die mannigfachen Gebiete der Schmetterlingskunde, zumal die Darstellung überall anregend und lebendig ist. Hoffentlich wird das Werk, dem wir eine möglichst weite Verbreitung wünschen, den Anstoß geben, daß auch Liebhaber und Sammler mehr als bisher sich dem biologischen Studium der Falterwelt zuwenden.

R. HEYMONS, Berlin.

HOBGEN, LANCELOT T., **Comparative Physiology.** London: Sidgwick & Jackson 1926. XIV, 219 S. 14 × 22 cm. Preis 7,6 Sh.

Das vorliegende kurze Lehrbuch der vergleichenden Physiologie ist aus Vorträgen hervorgegangen, die der Verf. längere Zeit vor Zoologen und Medizinern an der Edinburger Universität gehalten hat. Für erstere sollten sie eine Einführung in die Physiologie, insbesondere der niederen Lebewesen, für letztere eine Ausdehnung ihrer physiologischen Kenntnisse nach eben dieser Richtung bieten. Natürlich kann das H.sche Werk nur eine Auswahl des gesamten Materials geben, aber diese Auswahl ist sehr geschickt in 12 Kapiteln untergebracht, die in vier große Abteilungen zu je 3 Kapiteln zusammengefaßt werden. — Die erste Abteilung handelt von der Muskelkontraktion, der Art ihres Zustandekommens und der dabei ablaufenden Vorgänge, wobei die neuesten Erfahrungen insbesondere die von HILL mit verwertet werden. Daran schließt sich die Bewegung der Cilien, die amöboide Bewegung und die der Chromatophoren. Angeschlossen sind die Sekretionsvorgänge.

Die zweite Abteilung handelt von der Atmung, wobei zugleich die verschiedenen Atmungspigmente genau besprochen werden, ihr spektroskopisches Verhalten und ihre Fähigkeit zur Gasaufnahme; ferner von der Blutzirkulation. Bei letzterer interessieren besonders die Zirkulationsverhältnisse der untersten Tierstufen, deren anatomische Besonderheiten durch Abbildungen erläutert werden. — Die dritte Abteilung stellt die endokrine Koordination dar, ferner die nervöse Leitung und Erregung und gibt einen Überblick über die durch das Nervensystem vermittelten Prozesse in der niederen Tierwelt.

Der letzte Abschnitt endlich bringt eine Einführung in die Eientwicklung, in die Vererbungsvorgänge, in den Aufbau des Embryos.

Natürlich ist die Darstellung überall knapp gehalten, aber vielleicht gerade darum ist der Fortschritt auf allen hier behandelten Gebieten der vergleichenden Physiologie besonders klar zu erkennen. Der Verf. ist mit der neuesten Literatur genau vertraut, und zwar nicht nur mit der englischen. Auch die neuesten deutschen Arbeiten werden entsprechend gewürdigt. Hervorzuheben ist die Fähigkeit des Verf., gerade das Wesentliche aufzunehmen und leicht verständlich zu verarbeiten, wozu 44 gut ausgewählte Abbildungen besonders beitragen. Die neueste deutsche Literatur besitzt kein Kompendium, das in dieser Kürze und doch Vollständigkeit die wesentlichen vergleichend physiologisch wichtigen Probleme zur Darstellung bringt.

A. LOEWY, Davos.

GUTHERZ, S., **Der Partialtod in funktioneller Betrachtung.** Ein Beitrag zur Lehre von den unspezifischen Reizwirkungen. Jena: G. Fischer 1926. 66 S. und 10 Abbildungen. Preis 3,50 Reichsmark.

Der Verf. sucht für die allgemeine Geltung der

(letzten Endes auf C. WEIGERT zurückgehenden) Annahme, daß Zufallsprodukte von Zellen oder Zellbestandteilen („*Nekrotine*") eine „anregende", leistungssteigernde (unter „Leistung" wird hier auch Wachstum und Vermehrung verstanden) Wirkung auf andere Zellen ausüben, Beweismaterial aus verschiedenen biologischen und medizinischen Wissensgebieten zu sammeln. Er setzt diese Annahme weiterhin in wesentliche Beziehung zum ARNDT-SCHULZschen „biologischen Grundgesetz" (= „schwache Reize fördern die Lebenstätigkeit, starke hemmen sie, noch stärkere heben sie auf") und erweitert sie durch die Aufnahme der sog. „*Metaboline*" (= Produkte des normalen Stoffwechsels) unter die „stimulierenden" Substanzen. Eine Kritik dieser Ausführungen kann füglich unterbleiben, da ihnen vom Verf. selbst in erster Linie heuristische Zwecke zugeschrieben werden. Ob man allerdings ihr eventuelles Versagen in dieser letzteren Hinsicht lediglich dem Umstand wird zuschreiben dürfen, daß „die Zeitströmung, welche die chemisch-physikalische Richtung der Lebensforschung besonders betont, derartigen Bestrebungen (in einem vorhergehenden Satz bezeichnet der Verf. die von ihm behandelten Erscheinungen als ‚essentiell-biologisch') nicht eben günstig sind", darf wohl bezweifelt werden.

KARL BĚLAŘ, Berlin-Dahlem.

ELLENBERGER, W., H. BAUM und HERMANN DITTRICH, **Handbuch der Anatomie der Tiere für Künstler.** Bd. IV: Hirsch, Reh, Ziege. 2. verm. Auflage. Leipzig: Dieterichsche Verlagsbuchhandlung 1925. 20 S. und 14 Abb. auf 8 Tafeln mit Erläuterungen. 31×25 cm. Preis 14 Reichsmark.

Die Mappe enthält auf 8 losen Tafeln vortreffliche Darstellungen der oberflächlichen Muskulatur (Seitenansicht des ganzen Tieres in natürlicher Stellung nach Entfernung der Haut), des Skelettes (mit eingezeichneten Umrißlinien des Körpers) sowie einige, den Kopf und die Füße betreffende Einzelheiten von Hirsch, Reh und Ziege. Als gesondertes Heft sind zur Erklärung der Abbildungen 20 Seiten Text beigefügt, in welchem insbesondere auf die für den Künstler wichtigen, in der äußeren Modellierung hervortretenden Teile hingewiesen wird. Das Werk dürfte sich für Künstler, denen bei Darstellung dieser Tiere die tatsächlichen Verhältnisse nicht gleichgültig sind, als äußerst brauchbar erweisen. K. v. FRISCH, München.

Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin.

Am 5. Februar berichtete Professor FRITZ JAEGER, (Berlin), unter Vorführung von Lichtbildern über seine **Reisen und Forschungen in Mexiko** im Sommer 1925. Der Vortr. war einer der 80 Teilnehmer einer deutschen kaufmännischen und industriellen Exkursion, welche von der mexikanischen Regierung veranlaßt war, um die Handels- und Kulturbeziehungen zwischen beiden Ländern enger zu gestalten. Seine Forschungen beschränkten sich auf den kontinentalen Hauptteil des Landes, während die beiden anderen Landschaften der Republik, die Halbinsel Niederkalifornien und das schon zu Zentralamerika gehörige Gebiet jenseits des Isthmus von Tehuantepec außer Betracht blieben. Der Kern des mexikanischen Staates ist ein von 1100 bis 2600 m aufsteigendes Hochland, das von noch höheren Gebirgen umrahmt und im Süden, in etwa 19° Nord durch eine Zone gewaltiger Vulkanberge begrenzt wird, zu der auch als höchster Berg des Landes der 5600 m hohe Pik von Orizaba gehört. Das Hochland besitzt also als ganzes eine Beckengestalt, die durch zahlreiche Gebirgszüge, welche aus seiner Mitte aufragen, in einzelne Becken zerlegt ist, die mit Schuttablagerungen und vulkanischen Aufschüttungen ausgefüllt sind. Die Bahn von dem Seehafen Veracruz hinauf nach der Hauptstadt Mexiko steigt auf 33 Bahnkilometer um 1134 m an, also 34 m auf den Kilometer. Die leicht gefalteten Tertiärschichten der östlichen Küstenabdachung enthalten die reichen Erdölfelder.

Der kontinentale Teil von Mexiko liegt in derselben geographischen Breite wie die Sahara und hat daher im ganzen ein Trockenklima mit einer Regenzeit im Sommer, die jedoch dem wüstenhaften Niederkalifornien weniger als 100 mm Niederschlag spendet. Das nördliche Binnenhochland hat kaum 300, das südliche 500—800 mm Niederschlagshöhe, was für eine Steppenvegetation ausreicht. Besser beregnet sind nur die Küstengebiete. Der Golfküste und dem östlichen Hochlandsanstieg südlich von Tampico bringt der, von dem warmen Golf herkommende feuchte Passatwind große Regenmengen von $1^1/_2$ bis $2^1/_2$ m im Jahr.

In den Höhen von 1500 m herrscht eigentlich das ganze Jahr hindurch eine frühsommerliche Witterung, die z. B. täglich die schönsten Erdbeeren reifen läßt. Im Winter können die, von Norden hereinbrechenden „Nortes" starke Abkühlung und gelegentlich auch der Stadt Mexiko Schneefälle bringen.

Mexiko hat so gut wie keine schiffbaren Flüsse mit Ausnahme des östlichen Tieflandstreifens, wo die untersten Teile des, in den Vereinigten Staaten Rio Grande del Norte benannten Grenzflusses Rio Bravo und des Rio Panuco sowie die Ströme des regenreichen Tieflandes von Tabasco befahren werden können. Die Flüsse des Hochlandes stürzen nicht selten zum Tieflande in malerischen Wasserfällen hinab, welche vielfach zur Gewinnung elektrischer Energie ausgenutzt werden. Große Teile des Inneren sind abflußlos und enthalten Salzseen, wogegen der größte mexikanische See, der Chapalla, Süßwasser hat und durch den Rio Grande zum Pazifischen Ozean entwässert.

Der klimatischen Mannigfaltigkeit entspricht die Vegetation. Auf der Strecke von Veracruz nach Mexiko finden wir im Tiefland Savannen mit Gras und niedrigen Buschwald, in 800—1200 m üppigen Regenwald, höher hinauf Laub- und Nadel-, namentlich Kiefernwald. An der Hochlandkante in 2400 m treten weite Grassteppen mit Maisfeldern auf. In den trockenen Gegenden weiter nördlich überwiegt die grasarme Sukkulentensteppe. In der „Mixteca", der südlichen Verlängerung des Hochlandes nach Oaxaca sind die Kakteen so reich entwickelt, wie sonst nirgend auf der Erde. Als stachelige Säulen starren sie 10—15 m hoch in die Luft — eine Spezies hat den charakteristischen Namen Cereus columna Trajani — oder sie verzweigen sich zu mächtigen Kandelaberformen. Dazwischen breiten Agaven, Hechtien und Yuccas ihre starren Blattrosetten aus. Über der in etwa 4000 m gelegenen Waldgrenze folgt eine alpine Hochsteppenvegetation, die auf den höchsten Bergen nach oben in Hochgebirgswüste und schließlich in Schnee- und Eisfelder übergeht.

Als Brückenland zwischen Nord- und Südamerika ist Mexiko ein Mischgebiet verschiedener Floren und Faunen, nämlich der holarktischen, welche die außertropische Nordhalbkugel einnimmt, und der neotropischen, die in Südamerika ihre Heimat hat. Die erstere bewohnt in Mexiko besonders die kühleren

Höhen, die letztere vorwiegend das Tiefland. So bildet Mexiko das Endland der holarktischen Welt, das erst in junger geologischer Zeit mit Südamerika verbunden wurde. Einige Vertreter einer sehr altertümlichen Lebewelt haben sich noch erhalten, deren merkwürdigste der Ahuehuetebaum, Taxodium mucronatum, ist, den wir bei uns fossil in der miozänen Braunkohle finden. Unter einem Exemplar jenes Baumes, der in Tule bei Oaxaca steht und dessen gewaltigen Stamm 30 Mann kaum umspannen können, lagerte vor 400 Jahren Hernandez Cortez mit seinen Kriegern, und Alexander von Humboldt hielt ihn für das älteste Lebewesen auf Erden.

Die Indianer bilden noch heute den Grundstock der Bevölkerung. Aus ihnen und den Spaniern ist das Volk der Mexikaner entstanden, in dem Mischlinge aller Grade überwiegen.

Die Verschiedenartigkeit des Klimas gestattet Mexiko eine große Mannigfaltigkeit der landwirtschaftlichen Erzeugung. In der Tierra caliente des Küstentieflandes gedeihen besonders der Tabak und die Sisalagave, an der Küste selbst die Kokospalme. An den feuchten Hängen des Hochlandanstieges sehen wir Pflanzungen von Kaffee, meist von Bananenstauden beschattet, Zuckerrohr, Vanille, Apfelsinen und tropischem Obst. Auf dem Hochland dienen ausgedehnte Agavenfelder lediglich der Bereitung des Pulque, des berauschenden Nationalgetränks der Mexikaner. Außerdem wachsen hier Weizen, Gerste, Kartoffeln, Gemüse und unser mitteleuropäisches Obst. Das Hauptgetreide ist im ganzen Lande der Mais. Die landwirtschaftliche Kultur steht auf hoher Stufe. Bei Puebla hat ein Deutscher mit dem sog. Trockenfarmverfahren, das im wesentlichen auf sehr sorgfältiger Bodenbearbeitung und Aufspeicherung der, aus der Regenzeit stammenden Feuchtigkeit im Boden beruht, ausgezeichnete Erfolge erzielt, nämlich einen 300fältigen Weizenertrag, obwohl das Getreide von der Saat bis zur Ernte keinen Tropfen Regen erhalten hatte.

Der Mineralreichtum Mexikos ist für die Weltwirtschaft von der größten Bedeutung. Gold und Silber wurden jahrhundertelang reichlich gewonnen, und noch heute ist Mexiko das erste Silberland der Erde. Nach der Entdeckung ergiebiger Petroleumfelder im Jahre 1910 wird seine Erdölproduktion gegenwärtig nur von derjenigen der Vereinigten Staaten übertroffen.

Die Stadt Mexiko mit 700 000 Einwohnern verdankt ihrer Höhenlage von 2240 m ein angenehmes Klima. Sie ist die Nachfolgerin der alten, von Cortez zerstörten aztekischen Hauptstadt Tenochtitlan und auf einer Insel des abflußlosen Texcocosees angelegt, durch den sie bei jedem Hochwasser überschwemmt wurde. Erst unter der Herrschaft von Porfirio Diaz gelang es, die vor Jahrhunderten begonnenen Entwässerungsarbeiten zu vollenden und den See durch einen 10 km langen Tunnel abzuleiten und trocken zu legen. Die Stadt wird in malerischer Weise überragt von 2 Vulkanriesen, dem 5286 m hohen Ixtaccihuatl (= Weiße Frau) und dem 5440 m hohen Popocatepetl (= Rauchender Berg). Der Vortr. bestieg beide. Der Ixtaccihuatl zeigte schon von 3400 m an aufwärts Rundhöcker, Gletscherschrammen und andere Spuren ehemals größerer Eisbedeckung. Die Schneehaube des Gipfels weist stellenweise einen Böschungswinkel von 47° auf. Auch der Popocatepetl trägt einen Gletscher. Er befand sich gerade im Stadium des Ausbruchs, und aus dem gewaltigen Kraterkessel von etwa 1500 m Durchmesser und 800 m Tiefe brachen in ungefähr 1stündigen Intervallen ungeheure Rauchmassen hervor, die im wesentlichen aus Wasserdampf mit vereinzelten Sandkörnchen und Aschenteilchen zu bestehen schienen. O. B.

Mineralogisch-petrographische Mitteilungen.

The mechanical, thermal and optical properties of fused silica. (E. Thomson, Journ. Frankl. Inst. **200**, 313—325. 1925.) In dem vorliegenden Aufsatz gibt der Verf. eine weit ins einzelne gehende Darstellung der Erfahrungen bei der praktischen Verarbeitung des Kieselglases zu technologischen und wissenschaftlichen Zwecken. Unter den mechanischen Eigenschaften ist besonders bemerkenswert die hohe Elastizität dieses Kunstproduktes, unter den thermischen bekanntlich sein sehr geringer Ausdehnungskoeffizient. Das Problem der Herstellung von blasenfreiem Kieselglas kann als gelöst betrachtet werden. Der Anwendbarkeit des technischen, durch Blasen getrübten Kieselglases eröffnet sich ein weites Feld auf dem Gebiet der Hochspannungsisolatoren, besonders bei Spannungen von mehr als 200 000 Volt. In der optischen Industrie ist besonders die Herstellung von sehr beständigen Kondensorlinien für Projektionszwecke und die Möglichkeit der Herstellung ausgezeichneter astronomischer Spiegel hervorzuheben. Die Anwendbarkeit des Kieselglases bei Lichtquellen für ultraviolette Strahlung ist bekannt; s ist einer der allerdurchlässigsten Körper überhaupt. Auf einige biologische Anwendungen sei hier nicht eingegangen, wohl aber auf die für Gitterteilmaschinen, deren Schraube aus Kieselglas äußerst genau und temperaturkonstant sich herstellen ließe.

Formation of Mullite from Cyanite, Andalusite, and Sillimanite. (J. W. Greig, Journ. Americ. ceram. soc. **8**, 465—484. 1925.) Die vorliegende Abhandlung gibt zunächst eine geschichtliche Darstellung über die Forschungen im System Al_2O_3—SiO_2; alsdann gibt der Verf. eine ausführliche Darstellung der Ergebnisse seiner eigenen mikroskopischen und thermischen Studien über die Zersetzung der bekannten Al_2SiO_5-Mineralien bei hohen Temperaturen. Es bildet sich dabei das Silicat $3\,Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$ (Mullit), neben einer SiO_2-reichen Phase, die glasig entwickelt sein kann, oder auch vielleicht Cristobalit enthalten kann. Am leichtesten zersetzt sich jedenfalls der Disthen, nämlich bereits bei ca. 1200° merklich, rasch bei 1360°. Andalusit fängt bei 1400° an sich zu zersetzen, Sillimanit erst bei ca. 1550°. Allerdings sind diese Temperaturen keineswegs scharf zu bestimmen, da auch die Erhitzungsdauer eine sehr wesentliche Rolle spielt. Bei Disthen und Andalusit beobachtet man, wie die Umsetzung von der Außenseite der Krystalle einsetzt und allmählich nach innen vordringt. Bei Sillimanit geht die Umsetzung wohl im gesamten Krystall vor sich. Sehr kennzeichnend ist dabei die Orientierung der neuentstehenden Mullitnädelchen, welche bei Disthen sich senkrecht zu der Oberfläche des Krystalles einstellt, bei Andalusit und Sillimanit dagegen parallel zur ursprünglichen Orientierung des Krystalls verbleibt. Ausgezeichnete Photogramme bestätigen dies. Thermisch zeigt sich die Zersetzung des Disthens bei 1400° etwa an einer merklichen Diskontinuität der Temperaturdifferenz gegen reinen miterhitzten Korund (Methode der Differentialmessung). Allerdings ist die Lage dieser Unstetigkeit von der Korngröße abhängig. Beim Andalusit bemerkt man eine solche erst unterhalb 1545°. Silli-

manit zeigt bis 1545° überhaupt keine Wärmeeffekte. Besondere Sorgfalt wurde darauf verwendet, um die Form zu bestimmen, in welcher die Kieselsäure neben Mullit in den Zersetzungsprodukten vorhanden ist. Empfindliche Differentialmessungen ergaben nur schwache Effekte, die einer Umwandlung des Cristobalits $\beta \rightarrow \alpha$ entsprechen. Auch ergaben Röntgenographien des Pulvers die Anwesenheit von Cristobalit in winzigen Krystallen. Die Bildung dieses Cristobalits auch bei Temperaturen, die dem Stabilitätsfeld des Tridymits entsprechen, erscheint bei seiner Neigung zur metastabilen Krystallisation nicht weiter verwunderlich. Wichtig ist die Erscheinung, daß die durch Zersetzung der Al_2SiO_5-Mineralien gebildeten Produkte ein größeres spezifisches Volumen besitzen. Für die keramische Praxis ist dies von Wichtigkeit, weil Cyanit wegen dieses großen Volumeffektes zur Erzeugung hochfeuerfester Produkte ungeeignet erscheint. Man kann allerdings noch vor der Verarbeitung ihn auf 1400° erhitzen und dadurch in eine leicht zerreibliche mullitreiche Masse verwandeln, die keine weiteren Volumänderungen mehr erfährt.

Progress report on the use of andalusite as a refractory. (R. Twells, Journ. Americ. ceram. soc. **8**, 485 bis 492. 1925.) Der Gebrauch des Andalusits von den White Mts., Inyo Range, Calif. (vgl. Peck, Americ. mineral. **9**, 123. 1924), zu keramischen Zwecken ist vor allen Dingen zur Herstellung von höchstwertigen Zündkerzenkörpern bedeutungsvoll geworden. Ein großer Vorteil dieses Andalusits ist seine Formbeständigkeit bei der Umwandlung zu Mullit und SiO_2-Glas, seine sehr hohe Feuerbeständigkeit und seine leichte Verarbeitbarkeit. Die geringen Verunreinigungen mit Pyrophyllit wirken günstig als ein Flußmittel, und es kann der Andalusit ohne weiteres plastisch verarbeitet werden. Sehr wichtig ist die Feuerbeständigkeit der aus Andalusitmaterial hergestellten Untersätze für die Brennöfen; er ist in dieser Beziehung sogar dem Carborundum gleichwertig. In der Diskussion gibt u. a. Greig noch wertvolle Vergleiche der Andalusit-Mullit-Massen mit der bekannten Marquardtschen Masse.

An X-ray study of natural and artificial sillimanite. (J. T. Norton, Journ. Americ. ceram. soc. **8**, 401—406. 1925.) **An X-ray study of cyanite and andalusite.** (J. T. Norton, Journ. Americ. ceram. soc. **8**, 636—639. 1925.) Mit Hilfe der Methode von Hull wird nachgeprüft, ob die Gemenge von Al_2O_3 und SiO_2 im Verhältnis 1 : 1 und 3 : 2 beim Schmelzen und Krystallisieren Produkte ergeben, welche von dem natürlichen Sillimanit irgendwie sich unterschieden. Verf. findet aber, daß eine völlige Übereinstimmung des Röntgendiagramms zwischen dem „künstlichen" und dem natürlichen Sillimanit bestehe. Verf. zieht daraus den Schluß, daß wirklich beide identisch seien. Er erkennt in der Röntgenuntersuchung eine Methode, welche der chemischen Analyse überlegen sei, und daß man folgern müsse, daß in der Tat das Gittergefüge beider übereinstimmt, in dem einen Falle aber noch Moleküle von SiO_2 oder Al_2O_3 irgendwie eingefügt sein müßten, und zwar in zufälliger Verteilung, da diese keine eigenen Interferenzen verursachen.

In gleicher Weise untersuchte Verf. auch Pulverdiagramme von Disthen und Andalusit, welche als selbständige Modifikationen auch individuelle Röntgendiagramme ergeben. Verf. bestätigt die Ergebnisse von Peck über die Umwandlung derselben in „künstlichen Sillimanit" bei höheren Temperaturen, wie seit längerem bekannt.

In beiden Arbeiten gibt Verf. auch eine Diskussion mit den Ergebnissen von Bowen und Greig über den Mullit; er hält diesen als künstlichen Sillimanit für wesensgleich mit dem natürlichen.

Discussion on „An X-ray study of natural and artificial sillimanite". (N. L. Bowen and J. W. Greig, Journ. Americ. ceram. soc. **4**, 574—576. 1925. Abstracts.) Eine Entgegnung von Bowen und Greig, zu der vorstehenden Arbeit von J. T. Norton. Die Verff. treten der Ansicht Nortons entgegen, daß Sillimanit und Mullit wesensgleich seien und daß auch ihre chemische Zusammensetzung dieselbe sein müsse, *weil* das Verhalten gegenüber den Röntgenstrahlen einen Unterschied nicht erkennen lasse. Die Verff. zeigen die großen Unterschiede beider an dem verschiedenen thermischen Verhalten bei den synthetischen Studien und erkennen in der nahen krystallographischen Übereinstimmung beider einen Grund für die Analogie auch im Verhalten gegenüber den Röntgenstrahlen.

A micro-furnace for high magnification. (H. S. Roberts and Taisia Stadnichenko, Journ. opt. soc. Americ. **10**, 605—608. 1925.) Der hier beschriebene Mikroskopofen ist besonders bestimmt zur Beobachtung der Veränderungen im Mikrogefüge von Schliffen von Kohle oder kohligen Tonen; er ist besonders ausgezeichnet durch Anwendbarkeit auch starker Objektive. Die Substanz wird zwischen 2 Kieselglasstreifen eingeführt, welche mittels Nichrombandes erhitzt werden. Der Ofenkörper ist mit Wasser gekühlt und wird zur Vermeidung von Oxydation mit Heliumgas gefüllt, das in genau reguliertem Strome eingeführt wird. Der Einfluß des Gasstromes auf die Ablesung des Thermoelementes wird empirisch festgestellt. Mit Niederspannungsstrom von 11 Volt und 40 Amp. kann 800° C erreicht werden.

The Geophysical Laboratory furnace thermostat. (H. S. Roberts, Journ. opt. soc. Americ. **11**, 171—186. 1925.) Die im Geophysikalischen Laboratorium neuerdings benutzten Öfen für konstante Temperaturen beruhen auf dem von White und Adams (Phys. review **14**, 44. 1919) angegebenen Prinzip, daß die Heizwicklung des Ofens selbst als ein Widerstandsthermometer benutzt wird. Der Ofen wird alsdann in einen Zweig einer Wheatstoneschen Brückenschaltung so gelegt, daß die Brücke mit einem Nullinstrument, stromlos ist, wenn die einzustellende Temperatur wirklich herrscht, dieses Instrument aber je einen Kontakt betätigt, je nachdem die Temperatur zu hoch oder zu niedrig geht, wodurch dann Relais betätigt werden, welche das Gleichgewicht durch Ein- oder Ausschalten eines Hilfsstromkreises wiederherstellen. Auf die sehr sorgfältig entworfenen Schaltungsweisen für Gleich- und Wechselstrom kann hier im Referat nicht näher eingegangen werden.

A black body for optical pyrometer calibration. (H. S. Roberts, Journ. opt. soc. Americ. **10**, 723 f. 1925.) Der neue schwarze Körper besteht aus einem längsdurchbohrten Zylinder aus Achesongraphit mit eingeschnittenem Schraubengewinde im Innern, welcher am einen Ende eine enge Öffnung zum Anvisieren hat, am anderen Ende aber einen kürzeren Graphitstöpsel trägt, der an dem inneren Ende schräg abgeschnitten und mit einer glatten zylindrischen Bohrung versehen ist. Auf diese Abschrägung legt man ein Scheibchen von dem hochschmelzenden Eichmetall (Ag, Au, Pd, Pt) und erhitzt das Graphitblöckchen in aufrechter Stellung bis zum Schmelzen des Metalls. Visiert man dieses durch die obere enge Öffnung an, so bemerkt man beim Eintreten der Schmelzung dunkle Flecken auf dem Bilde des Metalls, herrührend von der Reflexion des Schauloches; zuletzt kann man auch das Abtropfen des flüssigen Metalls beobachten. Eine entsprechende

Vorrichtung aus MARQUARDTscher Masse oder ThO_2, geschwärzt durch Metalloxyde, kann auch für unedlere Metalle (Ni, Fe) benutzt werden.

Leverrierite as a schist-forming mineral. (C. S. CORBETT, Americ. journ. of science [5], **10**, 247—268. 1925.) Der Leverrierit, der als sekundäres Mineral in Sedimentgesteinen schon öfters beobachtet wurde, und auch gelegentlich in Gängen auftritt, ist vom Muscovit nur sehr schwer physikalisch zu unterscheiden, enthält aber nicht Kali als wesentlichen Bestandteil. In vorliegender Arbeit wird gezeigt, daß dieses Mineral auch in Schiefergesteinen, in denen es dem Muscovit ganz besonders ähnlich sein müßte, tatsächlich auftritt. Es werden vom Verf. späterhin einige Gesteine dieser Art beschrieben, welche höchstens Spuren von Kali enthalten und doch ganz den Typus von Muscovitgesteinen haben.

Für den Muscovit ist charakteristisch, daß er zwar in magmatischen sauren Gesteinen auftritt, nicht aber auf Gängen direkt aus Lösungen ausgeschieden erscheint. Umgekehrt ist für den Leverrierit das magmatische Vorkommen noch nicht beobachtet, meist aber das sekundäre (so von P. TERMIER wiederholt beschrieben); merkwürdig ist auch sein Auftreten in Verbindung mit Erzlagerstätten (so von Beidell, Saguache Co., Colorado, vgl. LARSEN und WHERRY, Journ. Washington acad. sciences **7**, 208—217. 1917; ferner vom Carson District, Owyhee Co., Idaho, vgl. SHANNON, Proc. U.S. nat. Mus. **62**, Nr. 15. 1923). Höchst bemerkenswert ist dabei die von LARSEN und WHERRY gefundene Tatsache, daß die Lichtbrechung des Leverrierits variabel ist, und daß der Wassergehalt von gewöhnlicher Temperatur bis 350° kontinuierlich sich verringert. Die Doppelbrechung bleibt dabei die gleiche. Genetisch ist ferner wichtig die Beobachtung von H. G. FERGUSON (Econ. geol. **16**, 1—36. 1921), daß der Leverrierit in den Erzen von Manhattan, Nevada, aus Lösungen abgesetzt wurde, und das Mineral hier unabhängig von Schiefergesteinen auftritt.

LARSEN und WHERRY fassen als Leverrieritgruppe folgende Aluminiumhydrosilicate nach zunehmendem Molekularverhältnis $Al_2O_3 : SiO_2$ zusammen: Batchelorit, Kryptotil, Leverrierit (Frankreich), Rectorit, Leverrierit (Colorado), Delanouit. Verf. möchte vor allem noch hinzufügen zu dieser Reihe den Pyrophyllit (nach DANA $Al_2O_3 \cdot 4\,SiO_2 \cdot H_2O$).

Des weiteren geht Verf. dazu über, die Wahrscheinlichkeit einer sehr weiten Verbreitung des Leverrierits und der ihm nahestehenden Mineralien besonders in denjenigen Gesteinen nachzuweisen, welche durch Metamorphose mechanisch umgebildet wurden. Daß diese weite Verbreitung nicht früher erkannt worden ist, liegt einerseits an der außerordentlichen Ähnlichkeit des Minerals mit Muscovit oder Sericit, sehr wahrscheinlich aber auch an der isomorphen Beziehung beider Typen. Die in der Literatur verstreuten Analysen von „hydratisierten Glimmern" deuten auf die Wirklichkeit gewisser Isomorphiebeziehungen hin. Mineralien der Leverrieritgruppe sind vor allen Dingen in denjenigen Gesteinen zu erwarten, deren K_2O-Gehalt nicht ausreicht zur Bildung des Muscovits; auch könnte leicht der Kaolin durch Wasserverlust in Leverrierit übergehen, wie nach der von CLARKE gegebenen Formel beide Mineralien bei gleichem Verhältnis $Al_2O_3 : SiO_2$ sich nur durch den Wassergehalt unterscheiden. Auch bei der Gesteinsverwitterung könnte sich besonders aus Feldspat das Molekül des Leverrierits bilden, vor allem auch bei hydrothermaler Zersetzung, z. B. in den Lagerstätten der englischen Porzellantone. Direkt auch durch Niederschlag von kolloidalen Lösungen von Al_2O_3 und SiO_2 kann sich Leverrierit bilden, wie dies das Vorkommen von Manhattan, Nevada, zeigt. In Glimmerschiefern dürfte auch das Vorkommen der einfachen Aluminiumsilicate Andalusit, Sillimanit und Disthen darauf hinweisen, wie diese aus Leverrierit sich ableiten.

Da es praktisch unmöglich ist, auf dem gewöhnlichen Wege der petrographischen Untersuchung Leverrierit von Muscovit zu unterscheiden, benutzte Verf. die Methode von E. BORIČKY zum mikrochemischen Nachweis des Kaliums an winzigsten Proben. Auf diese Weise konnte er z. B. an Baraboo-Quarzit von Ablemans, Wis., nachweisen, daß das glimmerähnliche Mineral in diesem Leverrierit ist. In einem quarzitischen Sericitschiefer von Waterloo, Wis., und in dem Mesnard-Quarzit aus dem Marquette-Distrikt, Mich., erwies dasselbe sich als ein Gemenge oder Mischkrystall von Muscovit mit Leverrierit. Sehr schwierig ist die Deutung des Mineralbestandes im Tonschiefer der Seely-Gruppe vom Baraboo-Distrikt, Wis., in welchem am wahrscheinlichsten neben Chlorit vor allem Quarz und Leverrierit auftritt.

Besonders wichtig ist die Anwendung röntgenographischer Methoden auf das vorliegende Problem. Als typischer Leverrierit wurde der von April Fool, Manhattan-Distrikt, Nevada, und von Beidell, Colorado, erkannt. Die Interferenzlinien des Leverrierits stimmen großenteils mit denen des Muscovits überein, nur eine stärkere erscheint deutlich verschoben. Auch das Röntgenogramm des Pyrophyllits zeigt die nahe Verwandtschaft zum Leverrierit und auch zum Muscovit. In den sehr feinkörnigen Präparaten des Baraboo-Quarzits ist das Gemenge von Quarz und Leverrierit sehr deutlich zu erkennen, während in denen des Seeley-Schiefers eine Unterscheidung von Muscovit nicht mehr möglich war.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen jedenfalls, daß der Leverrierit in Glimmerschiefern als Produkt der mit der Schieferung verbundenen „anamorphen" Reaktion vorkommt, und daß die Anwesenheit oder Zufuhr von Kali nicht nötig ist, um ein Gestein mit Tongehalt in einen Glimmerschiefer umzubilden.

The crystalline modifications of $NaAlSiO_4$. (N. L. BOWEN and J. W. GREIG, Americ. journ. of science [5] **10**, 204—212. 1925.) Bekanntlich ist der Carnegieit bei gewöhnlichen Temperaturen durch eine polysynthetische Verzwillingung gekennzeichnet; die vorliegende Untersuchung ergab aber das wichtige Resultat, daß oberhalb 692° das genannte Silikat in eine reguläre, isotrope Modifikation übergeht. Damit tritt der Carnegieit in eine bemerkenswerte Analogie zum Cristobalit im System SiO_2. Man kann die Umwandlung des vermutlich triklinen polysynthetischen Carnegieits bequem im Erhitzungsmikroskop beobachten, wenn man das Krystallpulver in geschmolzenes glasiges Natriummetaphosphat (aus $NaNH_4HPO_4 \cdot 4\,H_2O$) einbettet. Hierbei beobachtet man bei vielen Präparaten zunächst bei Rotgluthitze einen scharfen reversiblen Übergang von der doppeltbrechenden zur isotropen Form. Manchmal aber auch stellt sich bereits bei wesentlich niedrigerer Temperatur eine plötzliche Zunahme der Doppelbrechung ein; kühlt man wieder ab, so erfolgt die Wiederherstellung des ursprünglichen Zustandes nur sehr langsam. Nach einer besonders sorgfältigen Untersuchung dieser beiden Typen von Umwandlungen mit Hilfe der Differentialmethode ergab sich, daß die reversible scharf einsetzt bei 692,1° beim Erhitzen und bei 698,4° zu Ende geht; beim Abkühlen findet sich eine Unstetigkeit der Differential-

kurve erst bei 693,6° und hauptsächlich bei 687,0°. Die träge Umwandlung setzt scharf bei 226,5° ein; Präparate, welche diese zeigen, gehen bei 658,3 bereits in die isotrope Form über. Beim Abkühlen tritt der Wärmeeffekt der Rückwandlung schon bei 653,7° auf, die Umwandlung bei tiefer Temperatur ist aber so träge, daß sie erst bei etwa 176° an einem sehr schwachen Effekt erkannt wird. Der Wärmeeffekt der Umwandlung bei 226,5° beträgt nur etwa 2 cal pro Gramm; derjenige der Umwandlung bei 692° ist ca. 15 cal.

Auch der Carnegieit gehorcht nach diesen Ergebnissen der Regel, daß die bei höherer Temperatur stabilen Modifikationen eine höhere Symmetrie ihrer Krystallform besitzen (man könnte ihn etwa mit Kryolith, Leucit und Boracit vergleichen; Ref.). Es steht die Möglichkeit offen, daß der Carnegieit in der Natur noch in einer pseudokubischen, polysynthetisch verzwillingten Form gefunden werde. Die Hypothese, daß im Anemousit von Linosa der Carnegieit in dem Mischkrystall mit Anorthit enthalten ist (vgl. Washington und Wright, Americ. journ. of Science [4] **29**, 60 ff. 1910), verliert nach den vorliegenden Ergebnissen an Wahrscheinlichkeit, da die geringe Mischbarkeit des Anorthits mit dem kubischen Carnegieit bei magmatischen Temperaturen erwiesen ist und nunmehr nicht verwundern kann. Sehr viel wahrscheinlicher ist dagegen die Annahme von Parsons (Univ. Toronto Stud. Geol. Ser. Nr. 14, S. 32–38. 1922), daß das Carnegieit-Molekül dem des Analcims sich beimischen kann.

W. Eitel.

Mitteilungen aus verschiedenen Gebieten.

Das Tierleben am Mount Everest. Die beiden ersten englischen Expeditionen zur Besteigung des Mount Everest in den Jahren 1921 und 1922 hatten bereits interessante und wichtige Beobachtungen über die Tierwelt in den Hochregionen des tibetanischen Himalaya angestellt, über welche seinerzeit in dieser Zeitschrift (1923, Jg. **11**, H. 5, S. 67.) berichtet wurde. Auf der dritten Reise 1924 wurde gleichfalls der Fauna besondere Aufmerksamkeit geschenkt, und der Naturforscher dieser Expedition, Major R. W. G. Hingston hielt in der Royal Geographical Society zu London am 12. Januar 1925 einen Vortrag über die Ergebnisse seiner Forschungen (Animal life at high altitudes. Geographical Journ., London 1925, **65**, Nr. 3, S. 185 bis 198, mit Abbildungen).

In erster Linie betont er die wichtige Rolle, welche die Anpassung nicht nur an die Farbe, sondern auch an die Formen der Umgebung spielt, so daß manche Tiere nicht von den umherliegenden Steinen, zwischen denen sie sich verborgen halten, unterschieden werden können. Zahlreich sind die angeführten Beispiele von Gazellen, Hasen, Murmeltieren, die auf den kahlen Pässen noch in 5200 m Höhe vorkommen, Finken, Lerchen, Hühnervögeln, Eidechsen usw. Die große zentralasiatische Wanderheuschrecke lebt auf frischem Gras und hat daher eine lebhaft grüne Farbe; eine neu entdeckte kleine und flügellose Art, die noch in 5500 m auf Moränen und Granitgrus vorkommt, ist entsprechend dieser Unterlage grau und schwarz gesprenkelt; eine dritte Art harmoniert durch blaue und rote Flecken mit den Farben einer gewissen Sorte von Kies, und eine vierte Form ist gleichförmig blau wie die geglätteten Flußgerölle auf den Sandbänken des Chiblung Chu.

Da die kahlen Höhen den Tieren nur selten Möglichkeiten zum Verstecken bieten, so hat die Schutzfärbung in jenen weiten, offenen Flächen von Sand, Schutt und Schnee eine ganz besondere Bedeutung für die Tierwelt.

Aber auch in anderer Beziehung ist diese den Lebensbedingungen jener rauhen Gegend angepaßt. Der Wind pflegt dort mit so großer Heftigkeit zu wehen, daß er den Granit nicht nur glättet, sondern sogar Rinnen von 2 cm Tiefe in den Felsen ausfurcht. Gegen diese Stürme sind die meisten Säugetiere durch ein ungewöhnlich dicht behaartes Fell geschützt, wie z. B. Ziegen, Hunde und der, bis zu einer Höhe von 5200 m vorkommende Hase. Schweine wurden noch in 3650 m gesehen; sie unterscheiden sich von ihren halbnackten Genossen der Ebene durch ein dickes rostfarbenes Fell. Das beste Beispiel aber bietet der Jack. Über dem Wollflaum seines Felles hängt ein langer dichter Haarschurz tief herab, so daß namentlich die Beine geschützt sind. Der Hals trägt eine starke Mähne und der Schwanz dichte und buschige lange Haare. Beim Grasen steht das Tier dem Winde abgewendet, so daß der Schwanz als wirksamer Windschutz für den Körper dient, während die Beine durch die vom Fell herabhängenden Haare, der gesenkte Kopf durch die Nackenmähne geschirmt sind. Selbst Schmetterlinge, wie der für die großen Höhen von 5200 m charakteristische Apollofalter, ist fellartig behaart. Zweiflügler kamen noch in 4900 m vor. Die Schnäbel der insektenfressenden Vögel sind so beschaffen, daß sie gefrorenen Boden durchstoßen können.

Die Ernährungsschwierigkeiten und der Kampf um das Dasein in den unwirtlichen Hochgebirgsregionen veranlaßt die Tiere vielfach zur Bildung von Lebensgemeinschaften. Eine derartige Symbiose besteht zwischen dem Wildschaf und der Dohle, die auf dem Rücken des Schafes sitzend, ihm die lästigen Insekten aus dem Fell sucht, in dem die Dohle ihrerseits einen warmen Schlafplatz findet. Die Wildschafe klettern bis 5200 m und bringen dabei vielfach abgewitterte Blöcke und Steine zum Absturz, so daß ihnen ein nicht unbedeutender Anteil bei der Abtragung der Berge zukommt.

Um der Winterkälte zu entgehen, verlassen viele Tiere im Herbst die großen Höhen, während andere in Felsklüften oder in der Erde Winterschlaf halten. Die Expedition fand Anfang April unter den Steinen viele Würmer und Käfer, Tausendfüßler und Spinnen erstarrt und fast unfähig, sich zu bewegen. Messungen ergaben, daß bei einer mittleren Lufttemperatur von − 7,2° C das Thermometer in 30 cm Tiefe bereits + 0,6° C zeigte, ein Beweis, wie vorteilhaft für die Tiere das Verbergen in der Erde ist. Noch günstiger gestalten sich die Verhältnisse im Winter bei Vorhandensein einer Schneedecke. In 5200 m Höhe schwankte die Temperatur unter einem Stein nur um 6,1° C, diejenige der freien Luft dagegen um 24,4° C. Warme Quellen, deren eine die für dortige Verhältnisse hohe Temperatur von 15,6° C aufwies, bilden ein willkommenes Rückzugsgebiet für die Tiere. In dem Quellwasser leben hauptsächlich Krustaceen und Muscheln. Auch die einzige Schlangenart des tibetanischen Hochlandes findet sich dort.

In dem eingangs erwähnten ersten Bericht war als das höchste Vorkommen von tierischem Leben ein Geier erwähnt worden, der über einem 7540 m hohen Gipfel im Segelflug dahinschwebte. Die Mitglieder der dritten Expedition fanden Bienen und Schmetterlinge bis zu 6400 m, Spinnen bis 6700 m und Dohlen bis zu der enormen Höhe von 8230 m. Permanentes animalisches Leben wurde weit innerhalb der Schneeregion, noch 1200 m über der äußersten Vegetationsgrenze beobachtet. Es handelte sich um kleine Spinnen, die demnach von allen erdgebundenen Tieren die größten Höhen erreichen können. Sie leben auf Inseln von Felsschutt,

die rings von Eis und Schnee umgeben sind. Da dort keine Spur von Vegetation oder irgendwelchen Tieren vorhanden ist, so fressen sie ihre eigenen Artgenossen.

Im Anschluß an den Vortrag teilte der Direktor des Königlichen Botanischen Gartens in Kew, Dr. A. W. Hill mit, daß als *höchste Standorte von Pflanzen* bisher festgestellt wurden: 1921 von A. F. R. Wollaston am Mount Everest in 6220 m Arenaria muscosa und 1905 von Jacot Guillarmod am Kanchanjanga in 6290 m Delphinium glaciale.

Die mittlere Lufttemperatur der Parallelkreise. Die mittlere Temperatur der Luft im Meeresniveau wird für die gesamte Erde in der Weise berechnet, daß man aus Isothermenkarten die Mitteltemperaturen der einzelnen Parallelkreise bestimmt und deren verschiedene Länge bei der Berechnung des Gesamtmittels berücksichtigt. Dove (1852), Spitaler (1885), Batchelder (1894) und Hopfner (1906) haben für die meisten bis dahin zugänglichen Breitenkreise diese Berechnungen durchgeführt[1]). Eine Ergänzung für den nordpolaren Teil konnte Henrik Mohn auf Grundlage von Fridtjof Nansens Beobachtungen bei dessen Durchquerung des arktischen Eismeeres mit der „Fram" 1893—1896 geben[2]). Für den fehlenden südpolaren Teil leitete dann Wilhelm Meinardus Mittelwerte ab, welche er in einem von Meteorologen wenig benutzten geographischen Handbuch veröffentlichte[3]), die jedoch inzwischen durch die Messungen neuerer antarktischer Expeditionen überholt worden sind. Meinardus hat daher die alten Werte revidiert und durch neue ersetzt[4]), wobei sich ergab, daß die Temperaturen der höheren südlichen Breiten beträchtlich niedriger sind, als es die früheren Untersuchungen vermuten ließen. In der Umgebung des Südpols, der in etwa 2900 m Höhe auf dem völlig vereisten Zentralplateau der Antarktis liegt, hatte Roald Amundsen im Dezember 1911, also im Hochsommer, eine mittlere Temperatur von — 22,7°, R. F. Scott im Januar 1912 eine solche von — 28,2° gemessen, Werte, die sich durch Reduktion auf das Meeresniveau (unter der üblichen Voraussetzung einer Temperaturabnahme mit der Höhe von 0,5° für je 100 m) auf — 8,2° für den Dezember und — 13,7° für den Januar ermäßigen würden. Meinardus hält jedoch diese Zahlen für zu niedrig, da gerade jene Zeit auch an der britischen Ausgangsstation bei Kap Evans in Süd-Victorialand (etwa 78° Süd) um mehrere Grade zu kalt war, und nimmt daher als Januartemperatur des Südpols im Meeresniveau nur — 11° an.

Als mittlere Lufttemperaturen der Parallelkreise, auf das Meeresniveau bezogen, ergeben sich danach die folgenden. (Siehe obenstehende Tabelle.)

Da der Flächeninhalt der Südpolarkalotte von 70° bis 90° nur 6% der Halbkugel beträgt, so werden sich deren Mitteltemperaturen kaum wesentlich ändern, selbst wenn diejenigen der hohen Südbreiten durch spätere Beobachtungen um einige Grad erniedrigt oder erhöht werden sollten. Obgleich also den Werten für die polnahen Gebiete der südlichen Halbkugel noch ein erheblicher Grad von Unsicherheit anhaftet, sind wir

Breite	Januar		Juli		Jahr	
	Nord	Süd	Nord	Süd	Nord	Süd
0°	26,4	26,4	25,6	25,6	26,2	26,2
10°	25,8	26,3	26,9	23,9	26,7	25,3
20°	21,8	25,4	28,0	20,0	25,3	22,9
30°	14,5	21,9	27,3	14,7	20,4	18,4
40°	5,0	15,6	24,0	9,0	14,1	11,9
50°	— 7,1	8,3	18,1	3,0	5,8	5,5
60°	— 16,1	1,2	14,1	— 10,3	— 1,1	— 4,1
70°	— 26,3	— 1,3	7,3	— 23,9	— 10,7	— 13,3
80°	— 32,2	— 7,4	2,0	— 36,3	— 18,1	— 24,7
90°	— 41	— 11	— 1,0	— 42	— 22,7	— 30
Halbkugel	8,1	17,0	22,4	9,7	15,2	13,3
Ganze Erde	12,5		16,1		14,2	

doch nunmehr in der Lage, uns an der Hand der obigen Tabelle eine zutreffende Vorstellung über die Mitteltemperaturen der einzelnen Breitenzonen in den extremen Monaten und im Jahresdurchschnitt auf beiden Halbkugeln, sowie für die ganze Erde zu machen.

Wir sehen, daß die Wintertemperaturen in der Arktis (Januar) und der Antarktis (Juli) nur um kleine Beträge voneinander abweichen (wohlverstanden immer im Meeresniveau!), daß jedoch in den gemäßigten Breiten der Winter der Südhalbkugel beträchtlich milder ist als derjenige der Nordhalbkugel, wodurch sich für den Winter ein Wärmeüberschuß der Südhalbkugel über die Nordhalbkugel ergibt. Den größten Unterschied zwischen den beiden Hemisphären aber finden wir bei den Sommertemperaturen, die auf der südlichen Halbkugel (Januar) durchweg erheblich geringer sind als auf der nördlichen (Juli). So kommt es, daß die mittlere Lufttemperatur für die ganze Erde im Südsommer niedriger ist als im Nordsommer.

Da die Erde sich aber zur Zeit des Südsommers in Sonnennähe befindet, so muß man annehmen, daß die Sonne der südlichen Halbkugel im Januar mehr Wärme zustrahlt als der nördlichen im Juli. Wenn trotzdem die Lufttemperatur die erwähnten Unterschiede aufweist, so ist dafür die ungleichmäßige Verteilung von Wasser und Land verantwortlich zu machen. Die Südhalbkugel zeigt in den außerpolaren Breiten, namentlich aber in der gemäßigten Zone, ein so entschiedenes Vorherrschen des Meeres, daß die sommerliche Erhitzung der geringen Landflächen durch die Sonnenstrahlung nicht ausreicht, um die Sommertemperatur der ganzen Halbkugel auf dieselbe Höhe zu bringen, welche die Nordhalbkugel infolge der großen Ausdehnung ihrer Kontinentalgebiete erreicht.

Russische Nordpolarforschung. Die deutschen geographischen Zeitschriften, welche früher ziemlich regelmäßig die Ergebnisse russischer wissenschaftlicher Arbeiten und Entdeckungsreisen anzeigten, haben diese Berichterstattung schon lange vor dem Weltkrieg eingestellt, so daß wir seit Jahrzehnten über russische geographische Arbeiten nur sehr unvollkommen unterrichtet werden. Erschwerend wirkte auch, daß die russischen wissenschaftlichen Kreise in steigendem Maße darauf verzichteten, ihren Abhandlungen kurze Inhaltsangaben in einer westeuropäischen Sprache beizufügen, so daß wir meistens auf lückenhafte oder entstellte Nachrichten aus zweiter oder dritter Hand angewiesen sind.

Auch über die vielen, zum Teil mit großem Erfolg ausgeführten Unternehmungen der Russen im Polargebiet sind wir daher sehr schlecht informiert, und der russische Polarforscher Dr. Leonid Breitfuss hat sich deshalb ein großes Verdienst erworben, daß er uns die Kenntnis aller im hohen Norden während der Jahre

[1]) Hann-Süring, Lehrbuch der Meteorologie. 4. Auflage, Lieferung 1, S. 142—143. Leipzig 1924.

[2]) The Norwegian North Polar Expedition 1893/96. Scientific Results ed. by Fridtjof Nansen. Bd. VI, Meteorology by Mohn. Christiania 1905.

[3]) Geographisches Handbuch. Herausgegeben von Albert Scobel. 5. Aufl. Bd. I, S. 74. Bielefeld und Leipzig 1909.

[4]) Neue Mitteltemperaturen der höheren südlichen Breiten. Nachr. d. Ges. d. Wiss., Göttingen, Mathem.-physik. Kl. 1925. 12 Seiten.

1912—1924 ausgeführten See- und Landreisen in einer auf die russischen Originalquellen zurückgehenden Bearbeitung (Die Erforschung des Polargebietes Russisch-Eurasiens. Dr. A. PETERMANNS Mitteilungen aus Justus Perthes Geographischer Anstalt, Ergänzungsheft Nr. 188. Gotha: Justus Perthes 1925. VI, 113 Seiten, 16 Karten) vermittelt. Der Verfasser hat 10 Jahre lang teils als erster Assistent, teils als Leiter der Wissenschaftlichen Murman-Expedition fungiert, nahm regen Anteil an der Gründung der nordischen Radiowetterstationen, sowie der Ausrüstung von Rettungsexpeditionen und war bis 1920 Chef des Ozeanographischen und Meteorologischen Dienstes an dem Haupthydrographischen Amt der Marine in Petersburg. Er dürfte gegenwärtig der beste Kenner der russischen Polarliteratur in Deutschland sein. Mit Überraschung erfährt man aus seinem Werk, daß in dem kurzen, von ihm behandelten Zeitraum nicht weniger als 130 Polarexpeditionen von russischen Forschern des alten Stammes in der Arktis tätig gewesen sind. Mehr als 500 Schriften wurden über diese Reisen veröffentlicht, auf denen neben rein wissenschaftlichen Untersuchungen auf den Gebieten der Topographie, Kartographie, Geophysik, Meteorologie, Ozeanologie, Geologie usw. auch praktische Ziele verfolgt wurden. Von hervorragendem Wert für die Schiffahrt erwiesen sich insbesondere nautische Arbeiten zum Ausbau des Nordsibirischen Seewegs und die Einrichtung von Radiostationen für Zwecke der Wetterprognose und des Eismeldedienstes. Dazu kamen noch Untersuchungen von Lagerstätten nutzbarer Mineralien und dergleichen mehr.

Im besonderen sind die ozeanographischen Forschungen längs des Kolameridians (33° 30′ östlicher Länge) zu erwähnen, welche von der Murmanexpedition 1899 begonnen und bis 1908 fortgeführt wurden. Diese Arbeiten sind dem Programm des Ausschusses für Internationale Meeresforschung in Kopenhagen angepaßt. Nach langer Pause nahm man die Forschungen 1919 wieder auf, wobei die von der Murmanexpedition erzielten Anschauungen über die Hydrologie des Barentsmeeres ihre volle Bestätigung fanden, nämlich die Periodizität und Aperiodizität in den thermischen und halinischen Impulsionen des Golfstromes im Barentsmeer, der Zusammenhang zwischen der thermischen Kapazität und den klimatischen Erscheinungen im Norden, sowie die neue interessante Tatsache, daß die drei südlichen Zweige der Nordkapströmung zu gewissen Zeiten bis zu 55 km nach Süden von ihrer gewöhnlichen Lage abweichen können.

Ferner wurden zahlreiche Beobachtungen über die Strömungsverhältnisse im Karischen und im Sibirischen Meer und gründliche Untersuchungen in dem bis dahin recht mangelhaft bekannten Weißen Meer angestellt.

Von den Landexpeditionen sind besonders diejenigen der „Nordischen Wissenschaftlich-Praktischen Expedition" erwähnenswert, welche die Kolahalbinsel, das Petschoragebiet und Nowaja-Semlja mehrfach erforscht hatten.

Eine hohe wirtschaftliche Bedeutung kommt den Entdeckungen von reichen Kohlenflözen an der Petschora und an der Tunguska zu. Es handelt sich hier um ein Areal von etwa einer Million Quadratkilometern mit schätzungsweise 72 Millionen Tonnen Kohle, die den besten Cardiffsorten an Güte gleichkommen soll.

Der Hochseefischerei und dem Robbenfang wurden gleichfalls eingehende Untersuchungen gewidmet.

Von den größeren Expeditionen in die unbekannten Teile des Polarmeeres erregt unsere besondere Anteilnahme diejenige von G. L. BRUSSILOW auf der „St. Anna", die im Sommer 1912 Petersburg verließ, vom Eise umklammert in zwanzigmonatlicher Drift weit über den Franz-Josephs-Archipel hinaus nach Norden getrieben wurde und seit April 1914 verschollen ist. Damals verließ der Steuermann ALBANOW das Schiff in 83° 18′ Nord und 60° Ost, um sich mit 13 Begleitern nach Kap Flora an der Südküste von Franz-Josephs-Land durchzuschlagen, das er im Juli erreichte, nachdem seine Gefährten bis auf einen umgekommen waren. ALBANOWS Tagebuch-Aufzeichnungen sind in deutscher Übersetzung als Buch erschienen (Irrfahrten im Lande des Weißen Todes. Herausgegeben von LEONID BREITFUSS. Stuttgart-Gotha: F. A. Perthes 1925. 206 Seiten, 15 Textbilder, 2 Karten) und geben eine erschütternde Schilderung der Katastrophe.

Zur Aufsuchung dieser und der anderen unglücklich verlaufenen russischen Expeditionen von SSEDOW, RUSSANOW und des Eisbrechers „Solowei Budimirowitsch" wurden von der russischen Regierung unter tatkräftiger Mitwirkung von BREITFUSS allein in Norwegen 4 Rettungsexpeditionen ausgerüstet und nach dem Eismeer ausgesandt: „Eklipse"-Expedition, „Hertha"-Expedition, „Kit"-Expedition und „Sviatogor"-Expedition. Dazu kamen noch in Rußland die Hilfs-Expeditionen mit „Petschora" und „Andromeda" und zwei weitere, welche die beiden verschollenen Matrosen der AMUNDSENschen Expedition aufsuchen sollten und auch deren Leichen fanden. Auf der „Hertha"-Expedition, die 1914 nach dem Verbleib von SSEDOW forschte, gelangte zum erstenmal das Flugzeug in der Arktis zur Verwendung. Mit einem Fahrmann-Hydroaeroplan unternahm J. NAGURSKI mehrere ausgedehnte Flüge über die Nordinsel von Nowaja-Semlja und die angrenzenden Meeresteile.

Die großartigen Leistungen von B. A. WILKITZKI, der mit den Eisbrechern „Taimyr" und „Waigatsch" 1913 nördlich von Kap Tscheljuskin eine ausgedehnte Landmasse, Nikolaus II-Land, entdeckte und 1914 die Nordost-Passage in ost-westlicher Richtung durchführte, haben im Verein mit anderen kartographischen Arbeiten im sibirischen Küstengebiet der Nordfassade Asiens ein ganz anderes Aussehen gegeben.

O. BASCHIN.

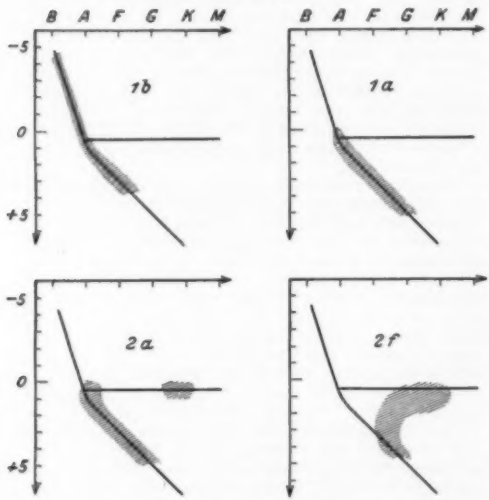
Astronomische Mitteilungen.

Spectral Types in Open Clusters. (ROBERT J. TRÜMPLER, Publications of the Astronomical Society of the Pacific **37**, 307. 1925.) Schon in den Naturwissenschaften **13**, 747, hatte ich über TRÜMPLERS Studien betreffend den Sternhaufen Messier 11 berichtet. Unterdessen hat er sein Beobachtungsmaterial erheblich vermehrt und auf im ganzen 52 offene Sternhaufen ausgedehnt. Es wurden, soweit angängig, die hellsten Sterne mit einem Spaltspektrographen, die schwächeren mit dem spaltlosen Spektrographen am Crossley-Reflektor der Licksternwarte untersucht. Die Methode, anstatt der Spektraltypen die Farbenindizes zu benutzen, scheitert, wie TRÜMPLER in der oben genannten Arbeit dargetan hat, an den großen systematischen Fehlern der bisherigen Farbenindexbestimmungen. Da die betrachteten Objekte alle im Verhältnis zu ihrem gegenseitigen Abstand weit von uns entfernt sind, kann man für alle Sterne eines jeden Haufens die Parallaxe als gleich annehmen und ihre scheinbaren Helligkeiten den absoluten bis auf eine Konstante gleichsetzen.

Im Spektraltypus-Helligkeitsdiagramm (Russelldiagramm) erhält man ein Bild von der relativen Verteilung von Helligkeiten und Spektraltypen in den einzelnen Haufen. Dabei zeigt sich fast ausnahmslos, daß die größte Zahl der Sterne vom frühen zum späten

Spektraltypus an Helligkeit abnehmen. Wir haben allen Grund, diese Häufung mit dem Zwergast des Russelldiagramms der Sterne unserer näheren Umgebung zu identifizieren und für diese Sterne des Haufens die normale absolute Helligkeit der Zwergsterne von A bis K anzunehmen. Meistens sind die Zwergsterne nur bis F oder G meßbar. Hieraus ergibt sich die oben erwähnte Konstante, und wir können aus der Differenz *absolute minus scheinbare Größe* die Parallaxe des Haufens errechnen. Allgemein ergibt sich die Entfernung der Sternhaufen als zwischen 40 und 3000 Parsek liegend; die meisten befinden sich zwischen 500 und 2000 Parsek.

In etwas mehr als der Hälfte der 52 von TRÜMPLER untersuchten Fälle ist ausschließlich oder fast ausschließlich der Zwergast vertreten, d. h. die hellsten Sterne sind auch die frühesten Spektraltypen. Nur gelegentlich kommen unter den hellsten Exemplaren einige gelbe oder rote Riesen vor. Sternhaufen dieser Art nennt TRÜMPLER den Typus 1.



Die Typen der offenen Sternhaufen.
Ordinaten = absolute Größen. Abszissen = Spektralklassen. Die schräge, geknickte Linie ist der Zwergast, die horizontale Linie der Riesenast. Die schraffierten Teile sind mit Sternen besetzt.

Bei manchen von diesen ist der früheste Spektraltypus A, bei den meisten aber sind die hellsten Exemplare vom Typus B. Hier zeigt sich aber ein gewisser Unterschied gegenüber dem gewöhnlichen Russelldiagramm. Die B-Sterne der Haufen sind um über 2 Größenklassen heller als die B-Sterne unserer näheren Umgebung, so daß eine Knickung des Zwergastes bei A in den Haufendiagrammen eintritt. Je nachdem ob in den Haufen des Typus 1 die frühesten Typen B oder A sind, bezeichnet TRÜMPLER sie als 1b oder 1a.

Sternhaufen, in denen der Riesenast nennenswert besetzt ist, bilden den Typus 2. In den meisten Fällen dieser Art ist der früheste vertretene Typus A. Der Riesenast ist entweder ganz besetzt oder nur bei den Spektraltypen G bis K mit einer Lücke bei F. Fast stets aber ist bei G und K eine starke Verdichtung zu bemerken. Dieser Typus heißt demnach 2a. Es kommt aber auch vor, daß die frühesten Typen F sind und der Riesenast glatt in den Zwergast übergeht, Typus 2f. Ein nach dieser Terminologie als 2b zu bezeichnender Haufen ist nicht bekannt.

Endlich findet TRÜMPLER ein Gebilde, das gar keine Gesetzmäßigkeit erkennen läßt, und er vermutet, daß es kein physisches System, sondern nur eine zufällige Häufung sei.

Interessant ist auch die Häufigkeit der einzelnen Typen. Es sind von den 52 untersuchten Gebilden

vom Typus 1b	24
1a	6
2a	20
2f	1
kein physisches System	1

Wie sind nun diese verschiedenen Haufentypen zu deuten, wenn wir es heute schon wagen wollen, an eine solche Deutung heranzutreten?

Da man zur Klassifizierung zweier Argumente benötigt, so nimmt der Verf. wohl mit Recht an, daß hier 2 Faktoren ausschlaggebend sind. Er setzt als diese erstens das Alter des Haufens (die wohl gerechtfertigte und jedenfalls durch nichts anderes ersetzbare Annahme, daß alle Mitglieder eines Haufens zu angenähert demselben Zeitpunkt entstanden sind, wird hier gemacht) und zweitens die mittlere ursprüngliche Masse der einzelnen Haufensterne. Das heißt Haufen mit einer ungewöhnlich hohen mittleren Sternmasse gehen einen anderen Entwicklungsgang als solche mit kleineren Einzelmassen. Nur jene, deren ursprüngliche Massen groß genug waren, können das Stadium 1b erreichen.

Warum aber gibt es keinen Haufen vom Typus 2b? Dies versucht TRÜMPLER damit zu beantworten, daß, wenn die größten Massen den B-Typus erreicht haben, alle anderen bereits auf dem Zwergast angelangt sind. Dies stimmt auch damit überein, daß bei den selteneren 1b-Typen, die *einige* rote Sterne besitzen, diese keine gewöhnlichen Riesen, sondern Übergiganten zu sein scheinen und demnach vermutlich noch größere Massen haben werden als die hellsten B-Sterne. Fälle dieser Art sind χ und h-Persei. Eine willkürliche Annahme ist es, den Sternen eines Haufens durchweg große, denen eines anderen durchweg kleine Massen zuzusprechen.

Ein weiterer, hier nicht behandelter Unterschied zwischen den verschiedenen Haufen ist die Sternzahl, die zwischen einigen Dutzend und Tausenden variiert. Diese wäre vielleicht als ein drittes Argument in die Klassifizierung einzuführen.

TRÜMPLER vermutet noch einen Typus 3, der unter den offenen Haufen bisher noch nicht beobachtet wurde und bei dem bloß der Riesenast besetzt ist. Der Entwicklungsgang des einzelnen Haufens wäre dann 3 2 1.

Hier sei noch auf die sog. Kugelhaufen hingewiesen, die viel seltener, weiter entfernt sind und die eine starke Konzentration nach ihrer Mitte aufweisen. Sie zeigen eine viel größere, bisher nicht abzählbare Sternanzahl. Eingehende Untersuchungen über diese Gebilde stammen von SHAPLEY. Ihre kosmische Stellung ist eine ganz andere, indem sie auf eine Hemisphäre zusammengedrängt sind, während die offenen Haufen eine starke Konzentration nach der Milchstraße zeigen, ja fast nur in dieser vorkommen. Physisch aber sind alle Übergänge zwischen den beiden Haupttypen vorhanden.

Sicher wird die Arbeit von TRÜMPLER, deren Publikation in extenso wir entgegensehen, unsere Erkenntnis der Genesis der Sternhaufen wie der Einzelsterne erheblich fördern können. BOTTLINGER.

Herausgeber und verantwortlicher Schriftleiter: Dr.-Ing. e. h. DR. ARNOLD BERLINER, Berlin W 9.
Verlag von Julius Springer in Berlin W 9. — Druck der Spamerschen Buchdruckerei in Leipzig.